

01161



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRÍA Y DOCTORADO  
EN INGENIERÍA

CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL  
GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE  
DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA  
DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR)

# TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA  
(ESTRUCTURAS)

PRESENTA  
JULIO CÉSAR MÉNDEZ FRANCO

DIRIGIDA POR  
M. EN C. ENRIQUE MARTÍNEZ ROMERO

CIUDAD UNIVERSITARIA  
FEBRERO 2005

m. 342204



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios

A Maria Siempre Virgen

A mis padres Esteban y Eva.  
Que siempre me han apoyado y  
han creído en mi

A mis hermanos.



Al M. En C. Enrique Martínez Romero,  
que con su ejemplo, conocimientos y ganas de vivir,  
me ha motivado para ser cada día mejor,  
gracias por su apoyo.

A Claudia,  
que siempre con tu amor y buenos consejos,  
me han ayudado a lograr mis objetivos.

A mis amigos

Al Dr. Rodolfo Valles Mattox,  
quien considero uno de mis mejores maestros,  
pero sobre todo un excelente amigo.

Agradecimiento especial a Douglas Taylor, Paul Tuttovene y Craig Winters  
por su valiosa ayuda y colaboración en este proyecto.

# Indice

---

	Pág.
<b>Introducción</b>	<b>I</b>
<b>Capítulo I</b>	
<b>Antecedentes</b>	
1.1    Análisis de edificios con disipadores de energía	1
1.2    Uso de Disipadores de Energía en México y Latinoamérica	4
1.3    Tipos de amortiguadores	
1.3.1  Amortiguadores del tipo metálico	7
1.3.2  Amortiguadores de fricción	11
1.3.3  Amortiguadores viscoelástico	12
1.3.4  Amortiguadores viscosos	13
1.4    Conceptos básicos de los sistemas de disipación pasiva de energía	15
1.5    Factores que influyen para ubicar y seleccionar la cantidad y tipo de los dispositivos disipadores de energía	17
<b>Capítulo II</b>	
<b>Descripción del Proyecto en estudio</b>	
2.1    Ubicación y características arquitectónicas	21
2.2    Estructuración y Problemática del edificio	24
2.2.1  Estructuración original	24
2.2.2  Daños durante los sismos de Septiembre de 1985 y reforzamiento inicial	24
2.2.3  Problemática y riesgo ante un sismo importante	
2.3    Nuevos objetivos del propietario	26
2.4    Enfoque Tecnológico a utilizar	27
<b>Capítulo III</b>	
<b>Análisis Preliminares</b>	
3.1    Elaboración del modelo	28
3.2    Estudio de vibración ambiental	28
3.2.1  Determinación de las características dinámicas del edificio.	28
3.3    Estimación del efecto de sitio con vibración Ambiental.	30
3.3.1  Métodos para estimar los efectos de sitio	30
3.3.2  Análisis de frecuencia	34

3.4.	Selección de datos para el análisis y diseño	37
3.5	Interacción suelo-estructura	41
3.6	Resumen de resultados iniciales	41
	3.6.1 Modelo de la estructura actual	41
	3.6.2 Análisis de historia en el tiempo del edificio actual	50

#### **Capítulo IV**

##### **Rehabilitación sísmica de la estructura**

4.1	Descripción del tipo de rehabilitación sísmica Utilizada.	51
-----	---	----

#### **Capítulo V**

##### **Análisis Realizados y Resultados obtenidos**

5.1	Análisis de historia en el tiempo del edificio con Amortiguadores	55
5.2.	Amortiguamiento Suplementario	56
5.3.	Análisis modal espectral	59
5.4.	Análisis de elemento finito en conexiones	59

#### **Capítulo VI**

##### **Resumen de resultados y conclusiones**

6.1.	Resumen de resultados	62
6.2.	Conclusiones	68

<b>Referencias</b>		<b>70</b>
--------------------	--	-----------

# Introducción

---

En los últimos años se ha estudiado con gran interés la aplicación de las técnicas de disipación pasiva de energía para mejorar la respuesta de algunas estructuras en zonas de alta sismicidad. Tal es el caso de algunos edificios en de la Ciudad de México, en los cuales el tipo de suelo (arcillas), las condiciones de la estructura y el hecho de encontrarse en una zona altamente sísmica, demanda un proceso de rehabilitación sísmica de características especiales para mejorar su desempeño y seguridad estructural.

En este trabajo se analiza uno de estos edificios; un edificio de concreto reforzado de 15 niveles, estructurado a base de marcos continuos y losa reticular, ubicado en la zona del lago de la Ciudad de México, el cual fue dañado durante los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985, lo que originó un reforzamiento “convencional”, agregando muros de concreto y reforzando algunas columnas y capiteles para lograr rigidizar a la estructura y cumplir con los requisitos reglamentarios de acuerdo a las Normas de Emergencia de 1985, como estructura del grupo B1.

La cimentación del edificio tuvo que ser reforzada también, agregando pilotes y reforzando contratraveses a un alto costo y grado de dificultad. En estas condiciones; los propietarios del edificio se vieron en el problema de que la ubicación y dimensión del edificio resultaba atractiva para que una dependencia oficial del Gobierno de la Ciudad lo pudiera arrendar, siempre y cuando el edificio cumpliera con el requisito de las construcciones del grupo A, establecido en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Ante esta situación y debido a la falta de estructuras pertenecientes al grupo A en la Ciudad de México, el propietario contempló la posibilidad de cambiar el tipo de uso del mismo, es decir, del grupo B1 al grupo A, haciendo las modificaciones la estructura de tal forma que le permitiera cumplir con los requisitos reglamentarios para dicho grupo, lo que originó que se le solicitara a la empresa Enrique Martínez Romero, S.A. el estudio correspondiente, en el cual el autor de este trabajo se vio involucrado directamente, por lo que con los debidos permisos y autorizaciones se propuso utilizar como base para su tema de tesis para obtener el grado de maestría en estructuras.

# Capítulo I

## Antecedentes

---

### 1.1 Análisis de Edificios con Disipadores de energía

El estudio analítico de edificios con disipadores de energía en México inicia después de los sismos de 1985, por la preocupación de unos ingenieros estructurales en utilizar métodos más “seguros y confiables” para rehabilitar estructuras dañadas por sismos, a la vez que más económicas y fáciles de ejecutar. Destaca la iniciativa de Enrique Martínez Romero, quién conjuntamente con los expertos Roger School (q.e.p.d) y William White, inventor de los amortiguadores sísmicos, llamados ADAS, se avocó a estudiar un buen número de edificios dañados con una tecnología hasta entonces inédita. Fue así como se hicieron propuestas de rehabilitación sísmica para edificios como el de la Secretaría de Relaciones Exteriores en Nonoalco, el edificio que ocupaba la Dirección General de Policía y Tránsito en Diagonal 20 de Noviembre; el edificio Izazaga 48-50 (Ref. 12), los edificios (Tres Torres) del conjunto La Viga en la esquina de la Calzada de la Viga y Eje 3 Sur, entre otros.

Lo novedoso de esta tecnología y la falta de una Reglamentación adhoc que incorporara lineamientos o recomendaciones específicas para su empleo y la carencia de aplicaciones exitosas previas en casos reales, impidieron que se consumaran algunas de las propuestas estudiadas; sin embargo la ocurrencia de nuevos sismos posteriores a los de 1985 ocasionó nuevos daños en construcciones rehabilitadas por métodos convencionales con fuertes pérdidas económicas, lo que hizo ver la necesidad de implementar otros enfoques tecnológicos más científicos y racionales.

Fue entonces que tomó forma el primer edificio rehabilitado sísmicamente con elementos amortiguadores en el mundo, el de Izazaga 48-50 en 1989 y su buen desempeño ante nuevos sismos que se sintieron en la Ciudad de México, dio ocasión a que se implementaran más: el edificio de Instituto Mexicano del Seguro Social en Reforma 476 (1990) y el edificio del Hospital de Cardiología del Centro Médico Siglo XXI, del Instituto Mexicano del Seguro Social

(1991); el primero de éstos dos se instrumentó sísmicamente siendo monitoreado por el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico de la Fundación Javier Barros Sierra. Los tres edificios anteriores fueron desarrollados por Enrique Martínez Romero con la Asesoría de R. School y W. White investigadores de California, utilizando amortiguadores del tipo ADAS, que se fabricaron en México, bajo licencia de Bechtel Power Co. de San Francisco, California.

A partir de entonces surgieron inquietudes tecnológicas en las instituciones de investigación como el Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barros Sierra, la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Autónoma Metropolitana, y se iniciaron una serie de trabajos con casos hipotéticos algunos de ellos, y reales otros, donde se estudiaba la respuesta de sistemas estructurales con amortiguadores. Al mismo tiempo, Applied Technology Council (ATC) (Ref.9) y Federal Emergency Management Agency (FEMA) (Ref. 4), ya habían producido lineamientos tentativos para este tipo de rehabilitaciones sísmicas y los programas de análisis no lineal; además el poder de los sistemas de cómputo progresaba para facilitar el desarrollo de esta nueva tecnología, que ahora sabemos es un hecho.

Desde entonces se han hecho un gran número de análisis numéricos en computadora. Estos comprenden tanto marcos de un nivel y una crujía, como edificios en tres dimensiones de múltiples niveles y varias crujías.

Los primeros disipadores probados en México, fueron las soleras de acero en forma de “U”; esta idea de disipador sísmico fue publicada en 1973 por Kelly (Ref. 13), simultáneamente en México se propuso para controlar los hundimientos de cimentaciones hechas con pilotes de fricción (Aguirre y Chucurel, 1976), sin que a la fecha se hayan instalado en estructuras.

M. Aguirre y R. Sánchez (Ref. 14), han sido los principales estudiosos de este tipo de disipadores, realizando varias pruebas en el Instituto de Ingeniería de la UNAM., así como en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).

Ahora bien, las soleras de acero en forma de “U” también han sido probadas en un modelo de acero de dos niveles, por González Alcorta (Ref. 15) en la mesa vibradora del Instituto de Ingeniería de la UNAM, obteniéndose una buena correlación entre las características dinámicas del modelo analítico y las que se valoraron experimentalmente; asimismo se distinguió el alto nivel de amortiguamiento equivalente que presenta el sistema, debido al comportamiento no lineal de los disipadores de energía.



*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

Algunos análisis realizados en México, por mencionar solo algunos son:

*Valles Mattox en 1993 (Ref. 16)* en su tesis de maestría, dirigida por Martínez Romero, realizó un análisis de una estructura de dieciséis niveles, en el cual se presentan las ventajas tanto en costos y respuesta estructural que ofrece el refuerzo con dispositivos disipadores de energía comparado con el uso de contraventeos convencionales, en edificios cuyos periodos se encuentran en la zona descendente del espectro de aceleración. El autor concluyó que las fuerzas que actúan en la cimentación son de gran magnitud aun utilizando los amortiguadores, por lo que recomienda reducir el número de niveles. Adicionalmente, menciona que los mayores ahorros que se tienen al utilizar amortiguadores sísmicos van orientados hacia la cimentación y no a la superestructura; respecto a los costos de construcción en estructuras nuevas con disipadores de energía, éstos son similares a los que resultan de utilizar sistemas convencionales.

*Tena, Gómez y Vargas en 1993 (Ref. 17)* analizaron el comportamiento de los dos edificios tipo del proyecto de refuerzo del IMSS en paseo de la Reforma con disipadores de energía; dichas estructuras no sufrieron daños durante los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985; empero, de acuerdo a los requerimientos del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente, debían ser reforzadas, debido a que su capacidad sísmo-resistente es inferior a la requerida para estructuras del grupo A ubicadas en la Zona II. Se concluyó que la rehabilitación sísmica propuesta a base de dispositivos disipadores de energía mejora sustancialmente la capacidad sísmo-resistente de las estructuras.

*Urrego, Ruiz y Silva en 1993 (Ref. 18)* analizaron el comportamiento estructural de un marco de diez niveles con disipadores de energía, colocados en cuatro distintas posiciones en el marco; mismos que fueron estudiados y comparados teniéndose como la conclusión final, que es más conveniente el utilizar arreglos en los cuales las diagonales están colocadas de manera de evitar la ocurrencia de grandes cargas axiales en las columnas que transmiten los momentos de volteo a la cimentación.

*Jara en 1996 (Ref. 19)* analizó el comportamiento de dos estructuras de seis y quince niveles respectivamente, para los cuales al ser sometidos a la acción del acelerograma correspondiente al sismo de 1985, se les planteó como alternativas de refuerzo el usar contravientos o los disipadores de energía tipo ADAS. Resultó, que al ser colocados los disipadores en la estructura de seis niveles se redujo la respuesta sin incrementar la fuerza cortante total, empero este sistema

resultó poco eficiente en el edificio de 15 niveles, siendo más conveniente la utilización de contraventeos convencionales.

*Tena y Vergara en 1997(Ref. 20)* analizaron las posibles alternativas para reforzar una estructura de diez niveles, ubicada en el centro de la Ciudad de México. Concluyeron, que las fuerzas máximas cortantes de entrepiso se incrementaron con el uso de contravientos convencionales, mientras que con el uso de disipadores de energía, se logró un mayor amortiguamiento y por consecuencia los cortantes de entrepiso se redujeron de manera importante.

Así pues, estos son algunos ejemplos de los primeros análisis realizados en México, utilizando las técnicas de disipación pasiva de energía, algunas de las cuales han sido ya comentados en libros de texto sobre la aplicación de sistemas disipadores de energía aplicados a las estructuras, (Ref. 6) reconociendo a la ingeniería mexicana, como tecnológicamente avanzada en este concepto.

## **1.2 Uso de Disipadores de Energía en México y en Latinoamérica**

Como se mencionó en el capítulo anterior, el primer edificio reforzado en México con disipadores de energía tipo ADAS, fue el de Izazaga 38-40; posteriormente se utilizó este mismo sistema para el Hospital de Cardiología, ubicado dentro del Centro Médico Siglo XXI del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Ciudad de México (Martínez Romero), como reportados por Soong y Dargush (Ref. 6).

El tercer edificio con disipadores del tipo ADAS corresponde a las oficinas centrales del IMSS. Está ubicado en Av. Reforma 476, Ciudad de México (Martínez Romero).

Otro edificio del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), se reforzó con esta tecnología, en la calle de Canela, en esta ciudad (Martínez Romero).

*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

Otras estructuras (nuevas) se construyeron con disipadores ADAS en Acapulco, Gro. Estas son la terminal portuaria TMM (Trans. Marítima Mex.) y tres torres altas de condominios (Conjunto La Jolla) (Martínez Romero) (Ref. 21).

Un edificio de cinco niveles en la zona I, se construyó con disipadores viscoelásticos diseñado por Eduardo Miranda en 1998 (Ref. 22). Este edificio alberga una sucursal de la compañía norteamericana 3M, misma que produce los disipadores que se incluyeron en el edificio.

Se realizó un reforzamiento a un edificio de 16 niveles en la colonia Roma (Torre Monterrey), utilizando dispositivos tipo ADAS (Martínez Romero- Méndez Franco, en el 2000) (Ref. 23).

Se realizó un estudio para reforzar el edificio CAD (Centro Administrativo Distrital), en Bogotá Colombia, (Martínez Romero-Méndez Franco, en el 2000) (Ref. 24) usando dispositivos disipadores de energía viscosos tipo Taylor, basándose en estudios geodinámicos elaborados por Lermo y Gallego (Ref. 25).

Sin duda, el edificio nuevo de mayor trascendencia que se ha construido en el mundo, con disipadores de energía (tipo Taylor) es la Torre Mayor, en la Ciudad de México, que con sus 57 niveles arriba del nivel de banquetta, cuatro niveles subterráneos y sus 225 m de altura, se concluyó recientemente con gran éxito funcional y económico, cumpliendo con el Reglamento de las Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) y el Uniform Building Code (UBC) para la zona de más alta intensidad sísmica; Enrique Martínez Romero y Ahmad Rahimian (Ref. 37), diseñaron este edificio empleando un enfoque de diseño por niveles de desempeño, que representa un avance tecnológico digno de reconocimiento. Los niveles económicos alcanzados y de seguridad estructural que ofrece este importante edificio, le merecieron reconocimientos internacionales de excelencia en ingeniería. Los trabajos de geodinámica los desarrolló el Instituto de Ingeniería de la UNAM, bajo la dirección de Romo (Ref. 28).

En la Ciudad de Santo Domingo, República Dominicana, se diseñó y se construyó un edificio nuevo (Martínez Romero-Méndez Franco, en el 2002) utilizando amortiguadores viscosos (tipo Taylor) (Ref. 29).

En Acapulco, Gro. Se diseñaron dos torres de departamentos utilizando disipadores de energía tipo ADAS, (Nautilus de 22 niveles (Ref. 30) y Torre Romanza de 20 niveles (Ref. 31)), que actualmente están en proceso de construcción, (Martínez Romero-Méndez Franco, en el 2003).

Se diseñaron dos torres de 33 niveles en la Ciudad de México, utilizando amortiguadores viscosos tipo Taylor (Ref. 32), que actualmente están en la primera etapa de construcción, (Martínez Romero-Méndez Franco, en el 2003).

En Acapulco Guerrero, se diseñó un edificio de departamentos, utilizando dispositivos disipadores de energía tipo ADAS (Marazul de 24 niveles, Ref. 33), el cual se está construyendo, (Martínez Romero-Méndez Franco, en el 2004).

En Acapulco Guerrero, se diseñaron dos edificio para hotel, utilizando dispositivos disipadores de energía del tipo viscoso (Taylor), (Mansión Imperial de 15 niveles cada torre (Ref. 34), (Martínez Romero-Méndez Franco y Valles Mattox, en el 2004).

Como se observa, en México se han utilizado con éxito este tipo de sistema de disipación pasiva de energía, esto con la participación de notables investigadores e ingenieros de la práctica profesional, logrando conjuntar aspectos técnicos y prácticos en el uso de estos sistemas.

### 1.3. Tipos de amortiguadores.

Existen varios tipos de dispositivos disipadores pasivos de energía, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

#### 1.3.1. Amortiguadores del tipo metálico.

Existen varios tipos de dispositivos utilizados, entre los cuales tenemos a los tipo ADAS, TADAS, tipo U, etc, los cuales funcionan por el trabajo histerético en flexión de placas metálicas.

Se muestra a continuación un amortiguador tipo ADAS, y unos ciclos histeréticos representativos de este tipo de dispositivos:

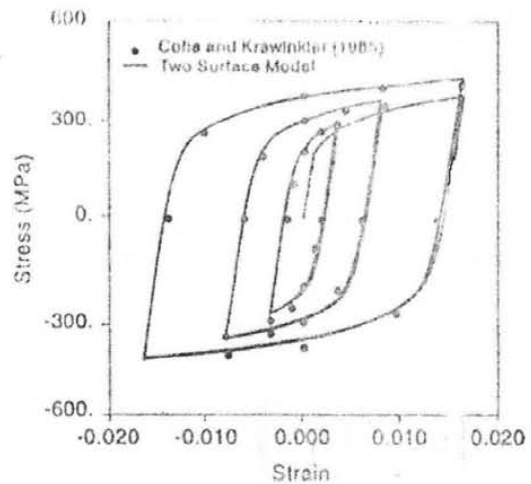
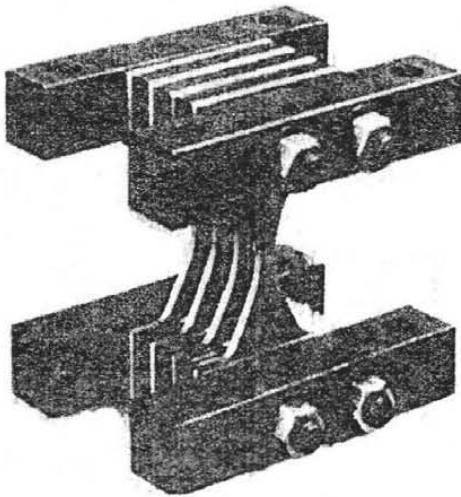


Fig. 1.1 a Amortiguador Tipo ADAS (Ref. 6)



Fig. 1.1 b Amortiguador Tipo ADAS (Ref. 23)

El arreglo óptimo para este tipo de amortiguadores es montarlos en contraventeos tipo chevrón, donde trabajan en dirección horizontal (cortante), oblicua a los contravientos.

Whittaker (et al.) propuso la siguiente expresión para modelar este tipo de disipador de energía:

$$F_u = V_{ADAS} = n \left( \frac{\sigma_y b_{1eq} t^2}{2h} \right)$$

donde:

n: número de placas

$\sigma_y$ : Esfuerzo de fluencia del acero, 2530 kg/cm<sup>2</sup>

$b_{1eq}$ : ancho equivalente de las placas en sus extremos = h/2 (cm)

t: espesor de las placas (cm)

h: altura de las placas (cm)

**CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).**

Tena Colunga (1995), propuso un modelo para el cual, la rigidez elástica inicial de este tipo de dispositivos está dada por: (Ref. 36)

$$K_{DDE} = K_{ADAS} = n \frac{f_{66}}{f_{22}f_{66} - f_{26}^2}$$

$$f_{22} = \frac{12}{Et^3} \left\{ \frac{h^3}{2b_1 \ln(b_1/b_2)} \left[ \frac{b_1}{b_2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{[\ln(b_1/b_2)]^2} \right) - 1 - \frac{1}{\ln(b_1/b_2)} - \frac{1}{[\ln(b_1/b_2)]^2} \right] \right\} + \frac{78}{25Et b_1 \ln(b_1/b_2)} \left( \frac{b_1}{b_2} - 1 \right)$$

$$f_{26} = \frac{12}{Et^3} \left\{ \frac{h^2}{2b_1 \ln(b_1/b_2)} \left( \frac{b_1}{b_2} - 1 \right) \right\}$$

$$f_{66} = \frac{12}{Et^3} \left\{ \frac{h}{b_1 \ln(b_1/b_2)} \left( \frac{b_1}{b_2} - 1 \right) \right\}$$

donde:

- n: es el número de placas
- b1: es el ancho de las placas en sus extremos
- b2: es el ancho de la garganta de las placas
- t: es el espesor de cada placa
- h: es la altura de las placas
- E: es el módulo de elasticidad del acero (Acero A-36)

Y de acuerdo a análisis realizados de regresión (Tena-Colunga 1997), el mejor ajuste se obtiene cuando  $b_1=0.6h$  y  $b_2=0.10h$ .

La capacidad última de corte de un dispositivo tipo ADAS, está dada por la siguiente expresión (Tena-Colunga 1997):

$$Fu = V_{ADAS} = n \left( \frac{\sigma_y (b_1 - b_2) t^2}{2h} \right)$$

En el caso de los dispositivos del tipo solera, la disipación de energía se produce por los ciclos histeréticos asociados al rolado por flexión de las soleras.

La rigidez elástica inicial de este dispositivo disipador, se puede calcular de acuerdo a la siguiente expresión (Aguirre y Sánchez 1992, Tena-Colunga y Pérez-Moreno 1994, Pérez 1995):

$$K_{DDE} = K_{DS} = n(0.297\sigma_u b)$$

donde:

n: es el número de soleras en forma de U

$\sigma_u$ : es el esfuerzo último del acero

b: es el ancho de cada solera

e: es el espesor de la solera

La capacidad última del dispositivo tipo solera, se obtiene como:

$$Fu = F_{UDS} = n(0.07\sigma_u be)$$

El desplazamiento de fluencia del dispositivo disipador es:

$$\Delta y = 0.1782e$$

Y de acuerdo a pruebas experimentales elaboradas por Aguirre y Sánchez (1992), el desplazamiento último del dispositivo tipo solera se debe limitar a:

$$\Delta u = 2e$$



Se muestra el amortiguador de solera en forma de “U”:

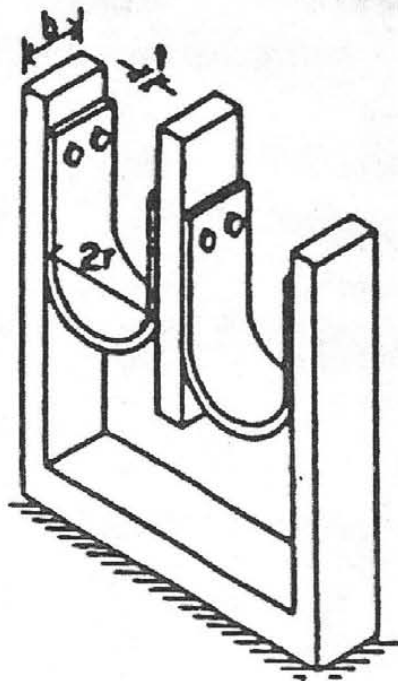


Fig. 1.2 Amortiguador solera en forma de “U” (Ref. 6)

### **1.3.2. Amortiguadores de fricción.**

En este tipo de dispositivos, el trabajo de disipación de energía se lleva a cabo por la fricción entre dos cuerpos sólidos. Existe una variedad de amortiguadores, como se muestran a continuación:

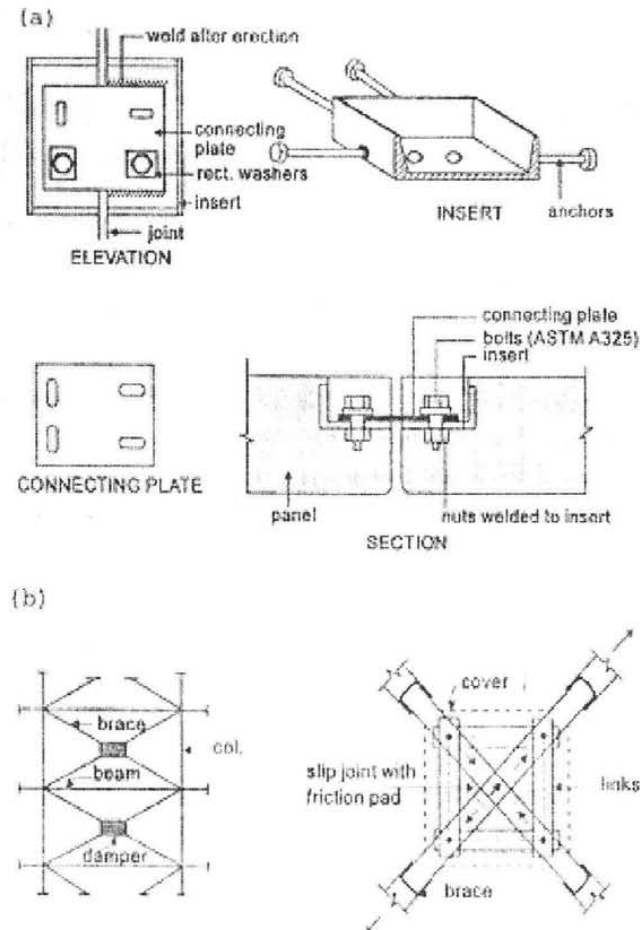


Fig. 1.3 Amortiguadores de fricción. (Ref. 6)

### 1.3.3. Amortiguadores viscoelásticos

En este tipo de dispositivos, el trabajo de disipación de energía se lleva a cabo a través de materiales viscoelásticos (elastoméricos), que son sujetos a deformaciones por cortante. Se muestra a continuación la configuración típica de un amortiguador de este tipo:

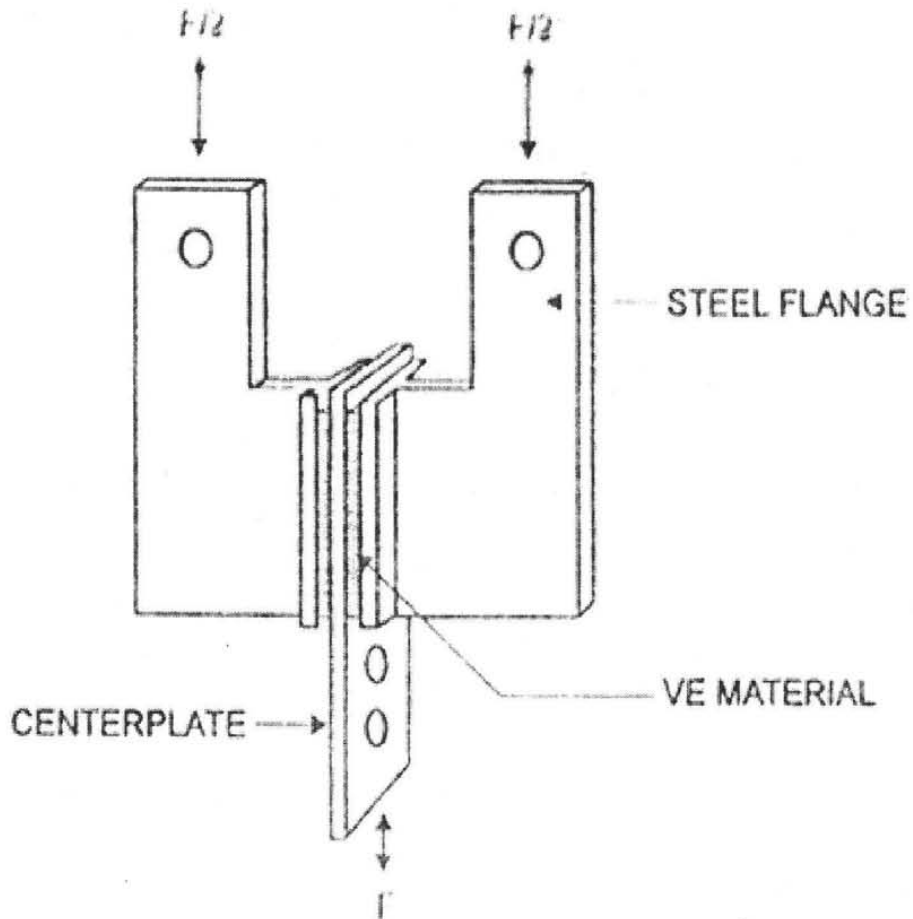


Fig. 1.4 Amortiguador viscoelástico. (Ref. 6)

#### 1.3.4. Amortiguadores viscosos (Tipo Taylor)

Estos amortiguadores funcionan mediante el paso de fluidos viscosos a través de orificios en un émbolo, dentro de una cámara hermética, logrando así el trabajo de disipación de energía; se presenta un detalle de un amortiguador tipo Taylor, mostrando cada una de sus partes; dichos dispositivos son fabricados en Estados Unidos en la Ciudad de Búfalo, Nueva York, por la empresa Taylor Devices, Inc.

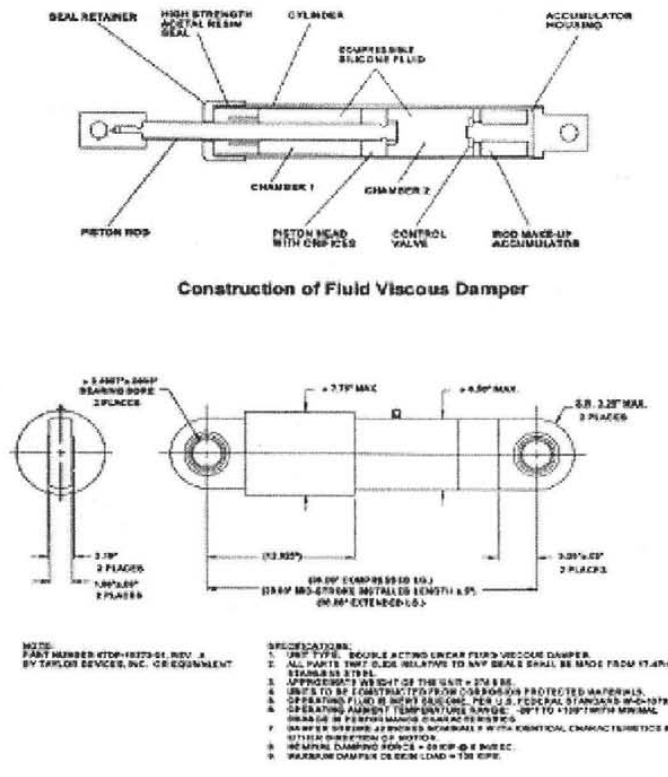


Fig. 1.5 Detalle de un amortiguador tipo Taylor (Ref. 6)

Este tipo de dispositivo tiene un comportamiento no lineal, y su amortiguamiento está dado por la ecuación:

$$F = c v^\alpha$$

donde:

F = Fuerza en el amortiguador

v = Velocidad de desplazamiento del émbolo en el amortiguador

c = constante de viscosidad del fluido dentro de la cámara del dispositivo

α = exponente de variación de la velocidad, que depende de la dimensión y cantidad de los orificios del émbolo, a través de los cuales pasa el fluido viscoso durante el movimiento del amortiguador.

**1.4. Conceptos básicos de los sistemas de disipación pasiva de energía, aplicada al comportamiento estructural durante un sismo o movimiento de las estructuras.**

El enfoque tradicional del diseño sismorresistente en estructuras, se ha basado en proveer una combinación de resistencia y ductilidad para resistir las cargas impuestas; así el ingeniero diseñador se apoya en la ductilidad inherente de los sistemas estructurales detallados y construidos concientemente, para evitar fallas, aunque permitiendo cierto grado de daños estructurales y no estructurales ante la presencia de sismos importantes.

El propósito básico de la incorporación de dispositivos de disipación pasiva de energía en una estructura, es el de absorber o consumir una porción importante de la energía provocada por el sismo, reduciendo así las demandas de disipación de energía por ductilidad en los miembros estructurales principales, y minimizar así su posible daño estructural y degradación de resistencia.

Debido a esta absorción de energía, generalmente se reducen las deformaciones laterales (desplazamientos totales y relativos), que se refleja en la reducción de daños en elementos no estructurales como son los muros divisorios, acabados, fachadas, etc.

Algunos de estos innovadores conceptos de disipación de energía, aún viven su desarrollo tecnológico, en tanto que otros como el de la disipación pasiva de energía están dando ya resultados muy satisfactorios; como los mencionados en capítulos anteriores.

A este concepto de disipación pasiva de energía, también se le conoce como amortiguamiento sísmico suplementario, y se ha empleado con éxito en la rehabilitación post-sísmica de un buen número de edificios, por lo que se consideró conveniente utilizarlo también para este importante edificio en estudio.

El enfoque netamente energético (Bertero) de un proceso de rehabilitación sísmica, establece que la energía que se absorbe durante un evento sísmico, o “energía de entrada”, se disipa mediante distintas formas de energía; es decir:

$$E_I = E_K + E_S + E_A + E_D$$

Donde:

$E_I$  = Energía de ingreso por el sismo en la estructura.

$E_K$  = Energía cinética del movimiento de la estructura.

$E_S$  = Energía de deformación elástica de la estructura.

$E_A$  = Energía de amortiguamiento de la estructura.

$E_D$  = Energía por deformación inelástica o ductilidad de la estructura.

Así entonces, “*el enfoque tradicional de diseño*” se basa en que la disipación de energía por ductilidad  $E_D$ , producida por el trabajo inelástico de la estructura (articulaciones plásticas en vigas y columnas), sea abundante, esto es, considerablemente mayor que las demás energías disipadas, es decir:

$$E_I = E_K + E_S + E_A + \mathbf{E_D}$$

Como se sabe, en muchos casos, el trabajo inelástico excesivo de las estructuras, involucra deformaciones importantes de los materiales que como las del concreto reforzado, que esta relacionada directamente con los agrietamientos o aparición de fisuras, es decir con el grado de daño o degradación estructural.

Asimismo, “*el nuevo enfoque energético*” se basa en que la mayor cantidad de disipación de energía de la estructura se presente por el amortiguamiento suplementario de la estructura y conserve la ductilidad del sistema intacta; es decir que la estructura permanezca elástica, o sea:

$$E_I = E_K + E_S + \mathbf{E_A} + E_D$$

Este enfoque es especialmente útil cuando se trata de estructuras que han sido dañadas por los sismos, en los cuales es posible que las abundantes incursiones de las uniones de trabes y columnas en sus intervalos inelásticos, hayan provocado cierto grado de degradación de su resistencia, haciendo cuestionable o poco confiable la ductilidad inherente del sistema dañado.

Se trata así, de incrementar este amortiguamiento interno, mediante la incorporación de amortiguadores suplementarios en la estructura, en lugares estratégicos para alcanzar este fin, teniendo una gran coordinación con el arquitecto y el propietario del inmueble; esto para lograr un arreglo óptimo tanto arquitectónico como estructural.

El proceso de rehabilitación post-sísmica, se inicia con la recopilación de los documentos originales con los cuales se construyó el edificio; es decir, los planos arquitectónicos, estructurales (cimentación y estructura), los estudios realizados, como el de mecánica de suelos y las memorias de cálculo. Posteriormente, se deberá realizar una inspección al edificio, con el fin de examinar el estado real de la cimentación, estructura y de los elementos no estructurales.

Finalmente se deberán realizar análisis con la información recabada, para así poder establecer un criterio adecuado para la rehabilitación post-sísmica del edificio.

#### **1.5. Factores que influyen para ubicar y seleccionar la cantidad y tipo de los dispositivos disipadores de energía.**

Se deberá tener una buena comunicación con todas las áreas involucradas en el problema, como son los dueños, arquitectos, personal de mantenimiento, etc; esto para lograr un beneficio general, es decir, que la estructura mejore su respuesta ante las sollicitaciones sísmicas, sin afectar la funcionalidad y estética de la edificación.

Así entonces, se enlistarán algunos de los factores más importantes, que influyen para la colocación del sistema de disipación pasiva de energía.

- Características de la estructura:
  - Tipo de estructura (Acero, concreto, etc)
  - Tipo de estructuración (Marcos rígidos, contraventeos, muros, etc.)
  - Altura total del edificio
  - Alturas de entrepiso
  - Características arquitectónicas (espacios, acabados, etc.)
  - Disponibilidad de espacio para la colocación de los dispositivos
  - Tipos de fachadas
  - Función arquitectónica
  
- Características del sitio:
  - Investigación geotécnica para caracterizar el tipo de suelo y zonificación sísmica.
  - Investigación geosísmica para poder definir:
    - Acelerogramas
    - Espectros de sitio
    - Espectros de diseño

Para este concepto, se presenta más adelante el estudio elaborado para este edificio, para el cual intervienen conceptos como: elección del acelerograma de diseño, espectros de respuesta para cada acelerograma y espectro de diseño.

a) Elección del acelerograma de diseño: De acuerdo a varias sismos característicos del sitio (subducción, normal, etc), se deberá elegir el más desfavorable para diseñar los amortiguadores, aunque se deberán de revisar con todos y cada uno de los acelerogramas proporcionados.

b) Espectros de respuesta: Se elaboran los espectros de respuesta para todos y cada uno de los acelerogramas disponibles, para ayudar a decidir el sismo más desfavorable de diseño.

c) Espectros de diseño: Estos espectros de diseño son las envolventes de los espectros de respuesta, de todos los acelerogramas que se pueden presentar en el sitio de interés, que para este caso se utilizó el establecido por la reglamentación local vigente.

- Acciones estáticas y dinámicas del viento



*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

- Comportamiento del edificio (características dinámicas):

- Rigidez global
- Rigidez de entrepiso
- Modos de vibrar
- Periodo fundamental
- Desplazamientos totales
- Distorsiones de entrepiso
- Velocidades en los entrepisos
- Masas del edificio
- Características de elementos no estructurales

Con todos los conceptos antes mencionados, se tendrá que seleccionar el tipo de dispositivo disipador de energía, los cuales pueden ser:

- ADAS
- Viscoso (Tipo Taylor)
- Viscoelástico (3M)
- Fricción
- Otros

Para cada estructura en particular, se deben considerar los factores antes mencionados, para así utilizar de una manera eficiente este tipo de dispositivos, ya que no se puede generalizar la colocación, número y tipo de amortiguador, hasta estudiar a detalle cada problema específico.

Como se sabe, cada tipo de dispositivo presenta características especiales, como son: tipo de colocación, forma de trabajo (axial, cortante o flexión), si agregan o disminuyen rigidez al sistema, etc; por estas características antes mencionadas es difícil establecer una regla de uso para cada amortiguador, por lo que se deberá tener criterio ingenieril para garantizar el buen uso de estos sistemas de disipación pasiva de energía.

Para este caso en particular, se utilizaron amortiguadores del tipo viscoso (Tipo Taylor), y que más adelante se discutirá al respecto.

En la bibliografía, existen algunas recomendaciones al respecto, una de ellas es la de los profesores M. Tsuji y T. Nakamura de la Universidad de Kyoto, en Japón (Ref. 7), en la cual señalan las características que influyen para la colocación de estos amortiguadores, como las configuraciones modales, la magnitud de los cortantes basales, constante de amortiguamiento, exponente alpha de la velocidad, matrices de masa y rigidez, así como el tipo de excitación.

Asimismo, ante la carencia de disposiciones reglamentarias o lineamientos para el diseño de este tipo de rehabilitación sísmica, se recomienda utilizar tanto las recomendaciones del FEMA 273-274 (Ref. 4) y el ATC-40 (Ref. 9), mismas que contienen información más reciente referente el tema; como algunos trabajos que se han desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Refs. 39 y 40), en la UAM (Refs. 20,36 y38), que presentan conceptos importantes para el desarrollo de proyectos de este tipo.

Es importante destacar, que se pueden utilizar los documentos anteriores, siempre y cuando se considere la sismicidad local y regional de México, ya que en estas publicaciones se encuentran parámetros que solo aplican a los Estados Unidos de Norteamérica.

## **Capítulo II**

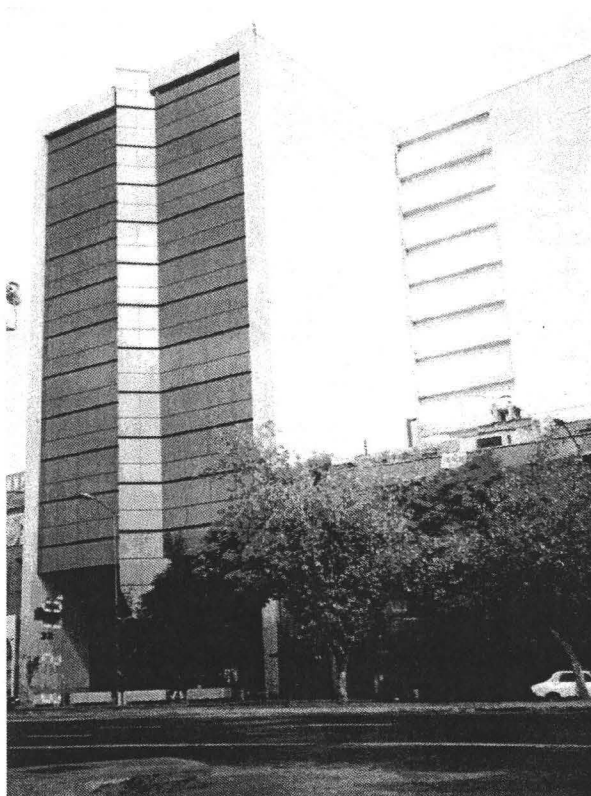
# **Descripción del Proyecto en estudio**

---

### **2.1 Ubicación y Características Arquitectónicas**

El edificio objeto de este estudio se encuentra ubicado en la calle de Fray Servando Teresa de Mier No. 43, en el centro de esta ciudad; que de acuerdo a la zonificación del tipo de suelo que señala el Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal, está dentro de la zona de suelos blandos (Zona III).

El edificio presenta una planta rectangular irregular (ver figura 2.2), con claros de 9.70 X 10.0 m, con una disminución del área en los niveles superiores; consta de un nivel de sótano, planta baja, 13 plantas de oficinas, azotea y un helipuerto (Ver figura 2.3).



**Fig. 2.1 Vista del edificio**

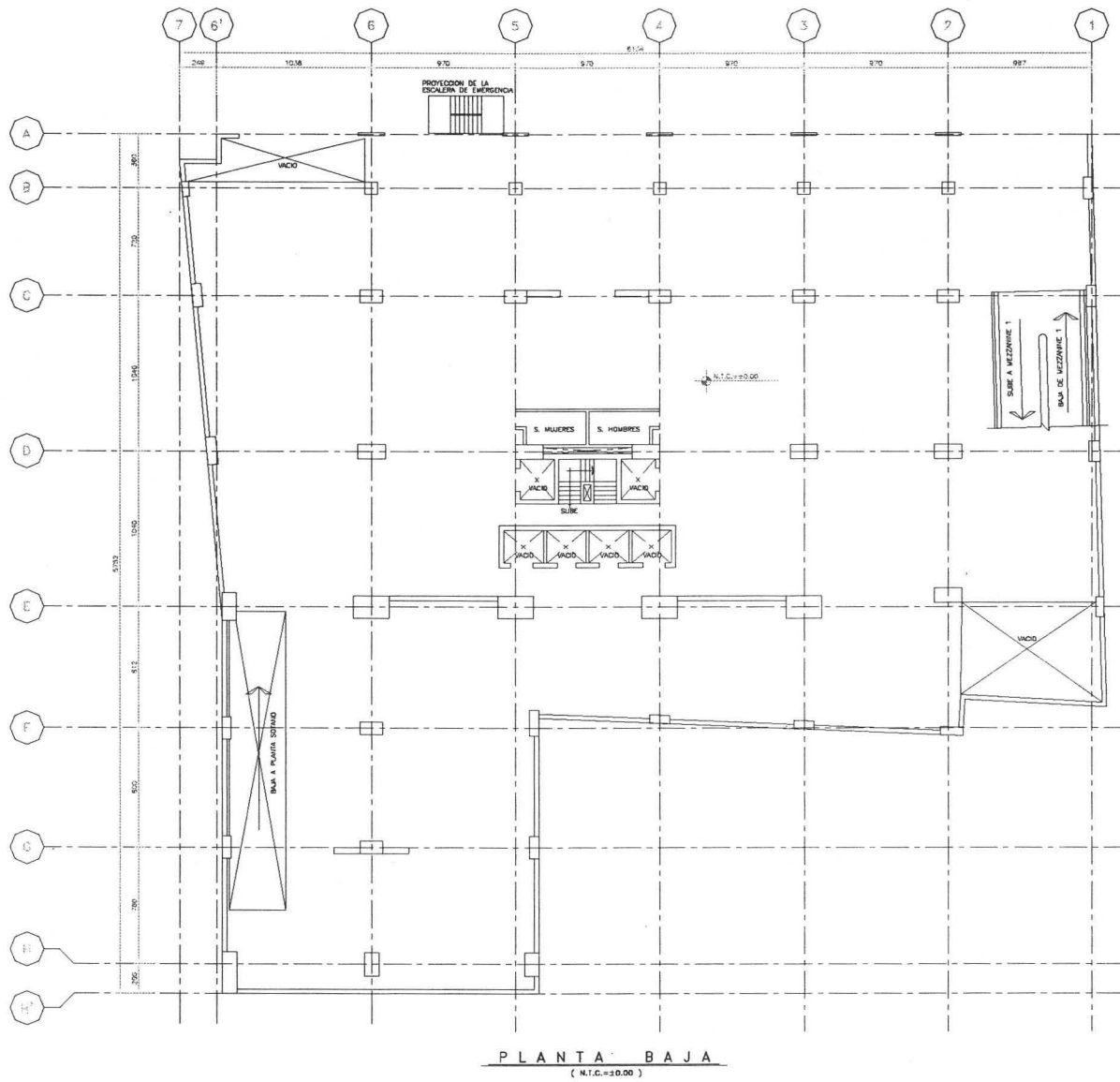
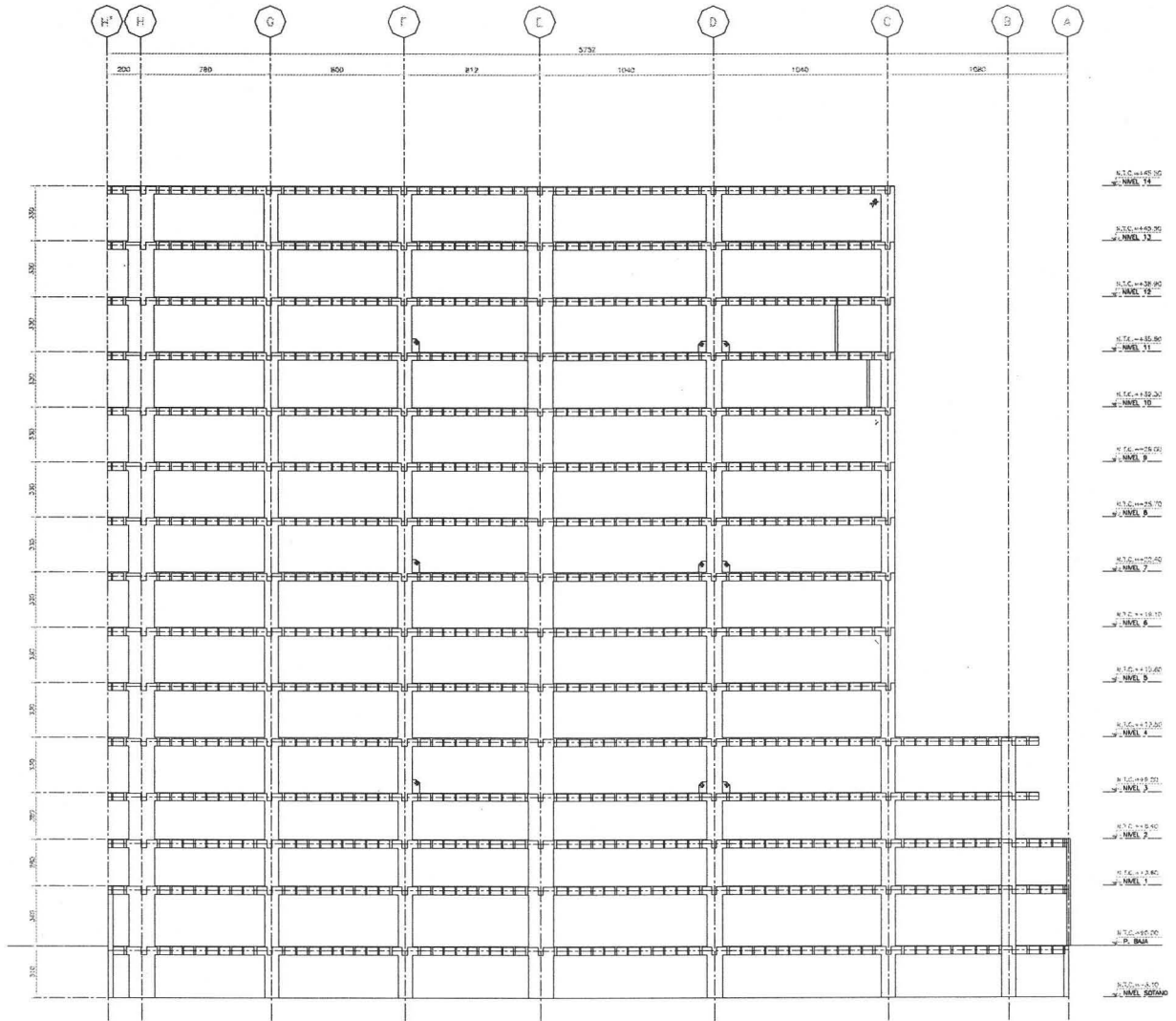


Fig. 2.2 (Planta)

**CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).**



ELEVACION SOBREF. F.J.F. 6

**Fig. 2.3 (Elevación)**

## **2.2 Estructuración y Problemática del Edificio**

### **2.2.1.- Estructuración original**

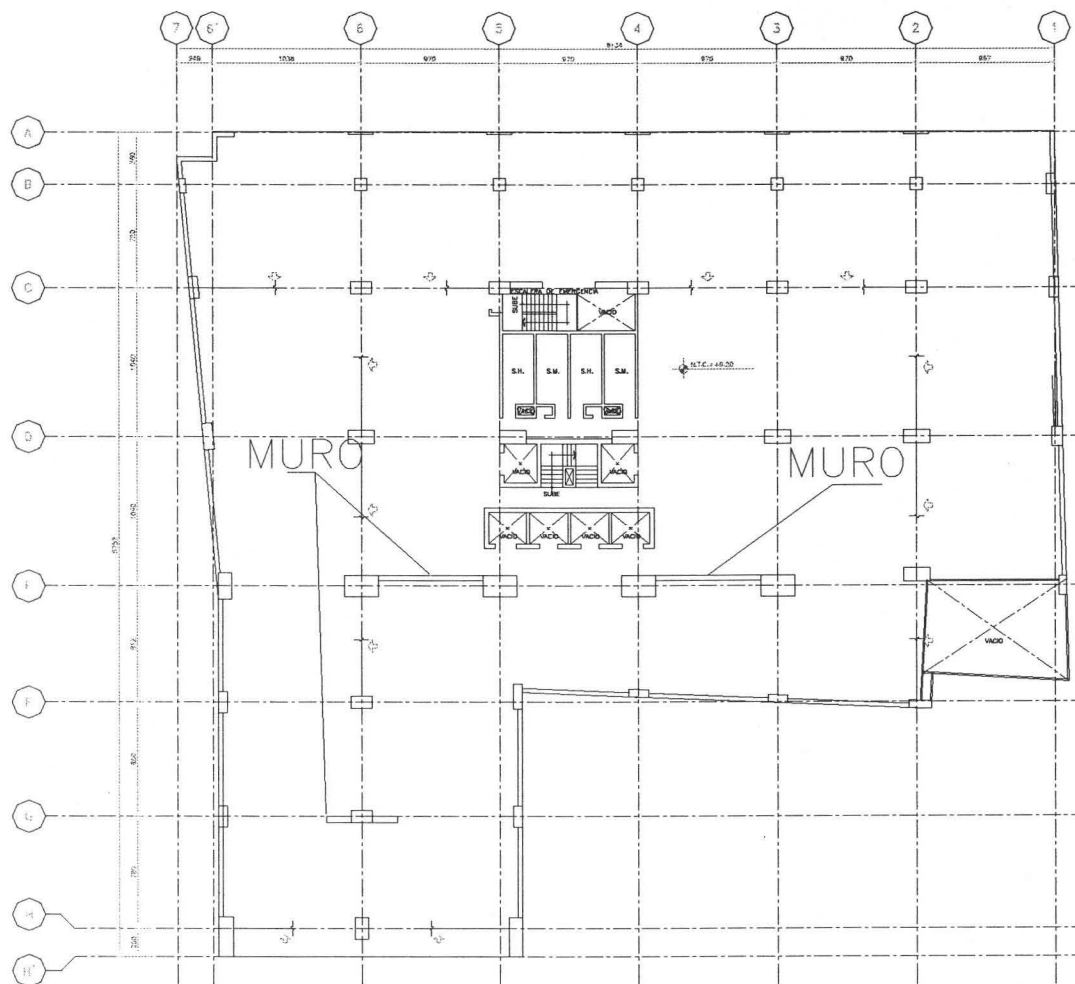
El edificio estuvo estructurado en su concepto original a base de marcos rígidos de concreto reforzado en ambas direcciones principales, con un sistema de piso a base de losas reticulares; adicionalmente existían algunos muros de concreto en la zona de servicios; la estructura está apoyada sobre un cajón de cimentación, complementado con pilotes de fricción de concreto reforzado.

### **2.2.2.- Daños durante los sismos de septiembre de 1985 y reforzamiento inicial**

De acuerdo a los años en los que se diseñó y construyó este edificio, las bases fueron tomadas del Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal vigente en esa fecha; por lo que al presentarse el sismo del día 19 de septiembre de 1985, este edificio sufrió algunos daños importantes, sobre todo en algunas de las columnas extremas.

Debido a lo anterior, decidieron llevar a cabo un reforzamiento convencional, mismo que consistió en colocar algunos muros de concreto reforzado, uniendo las columnas en las zonas afectadas (ver figura 2.4), así como reforzando algunas columnas y capiteles por medio de placas de acero.

**CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).**



**Fig. 2.4 (Refuerzo a base de muros)**

Al utilizar este sistema, se reforzaron las zonas dañadas dándole al edificio una rigidez lateral superior a la que se tenía con el diseño original, ya que los muros que se colocaron presentan una rigidez importante y por consiguiente se redujeron las deformaciones laterales.

### 2.2.3.- Problemática y riesgo ante un sismo importante

De acuerdo al tipo de reforzamiento que se utilizó para este caso en específico, se pueden mencionar los siguientes inconvenientes:

- El comportamiento global de la estructura cambió radicalmente (Periodo, distribución de cargas en superestructura y cimentación).
- Al rigidizar la estructura colocando muros de concreto, las fuerzas sísmicas tenderán a concentrarse en dichos muros, ya que estos elementos tienen una mayor rigidez comparada con el sistema sismorresistente original (marcos rígidos).
- No se realizó ningún tipo de reforzamiento a la cimentación, sobre todo en las zonas donde las descargas debido al sismo aumentaron de una manera importante, por la colocación de muros de concreto.

Debido a todo lo anterior, al presentarse un sismo de magnitud importante, existía un alto riesgo de presentarse una falla en la cimentación del edificio.

Es importante señalar que para el caso en estudio, este reforzamiento resultó eficiente para la superestructura, ya que con estas modificaciones, se logró cumplir con los estados límite de falla y servicio; y desfavorable para la cimentación, ya que esta no fue calculada para soportar la nueva distribución de cargas que se presentarán con este reforzamiento. No se puede generalizar para todas las estructuras un tipo de reforzamiento específico, ya que cada caso es distinto debido a variables como tipo de suelo, cimentación, geometría del edificio, materiales, estructuración, etc.

### 2.3 Nuevos objetivos del propietario

Debido a los intereses personales del propietarios, se fijaron los objetivos de revisar nuevamente la seguridad estructural del edificio en su estado actual, así como tratar de cambiarlo del grupo B1 (actual) al grupo A, por lo que para cumplir con los requisitos reglamentarios, las aceleraciones sísmicas ( $c$  = coeficiente sísmico) se deberán incrementar en un 50%.



## **2.4 Enfoque Tecnológico a utilizar**

Para el caso del diseño sísmico de edificios, se sabe que el espectro de respuesta tanto de pseudoaceleraciones, pseudovelocidades y desplazamientos de las estructuras, depende principalmente de dos factores, los cuales son: el periodo de la estructura (rigidez) y el porcentaje de amortiguamiento con respecto al crítico; este último suele tener valores entre un 2 y un 5 % máximo dependiendo del tipo de estructura (concreto 5%, acero 3%, etc.).

Así entonces se pretende aumentar el amortiguamiento de la estructura, implantando dispositivos disipadores de energía en lugares estratégicos, para disminuir las ordenadas espectrales de tal manera de obtener la misma magnitud de las sollicitaciones sísmicas para las que el edificio fue diseñado.

Debido al comportamiento global del edificio, se decidió utilizar dispositivos disipadores de energía del tipo viscoso (Taylor), ya que solo se requiere incrementar amortiguamiento y no rigidez, el cual sería el caso de los amortiguadores tipo ADAS, toda vez que estos dispositivos se tienen que montar en contraventeos.

Para el caso del amortiguamiento que proveen los amortiguadores al sistema estructural, existen varios métodos para calcularlo, estos se describen en capítulos posteriores; para el caso específico de los amortiguadores existen recomendaciones para rangos óptimos, que se señalan en publicaciones como en varios artículos escritos en México (Ref. 38) así como en publicaciones como el FEMA (Ref. 4,) y el ATC (Ref. 9), entre otros.

## Capítulo III

# Análisis Preliminares

---

### 3.1 Elaboración de un Modelo.

Se elaboró un modelo mediante el uso del programa SAP2000 No-Lineal en su última versión, el cual permitió modelar de manera tridimensional a toda la estructura en conjunto, como son trabes, columnas, muros y contraventeos (con amortiguadores). Este programa idealiza a los materiales con comportamiento elástico lineal y calcula la respuesta de la estructura considerando las deformaciones por efecto de flexión, carga axial, cortante y torsión. Asimismo, permitió modelar el comportamiento no-lineal de los dispositivos disipadores de energía Tipo Taylor, para así poder identificar la influencia de los mismos en la estructura y en la cimentación.

### 3.2 Estudio de Vibración Ambiental

Con el fin de calibrar el modelo matemático, para así lograr un análisis más real del edificio, se solicitó la realización de un estudio de Vibración Ambiental, (Ref. 1). Como anexo se presenta un resumen de los resultados obtenidos.

#### 3.2.1.- Determinación de Características Dinámicas del Edificio

Con el objeto de determinar las características dinámicas del edificio, se llevaron a cabo mediciones de vibración ambiental en la estructura, se colocaron una serie de aparatos de medición en lugares estratégicos tanto en el edificio como en campo libre. (Ver figura 3.1).

CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).

PUNTOS DE MEDICION (VIBRACION AMBIENTAL)

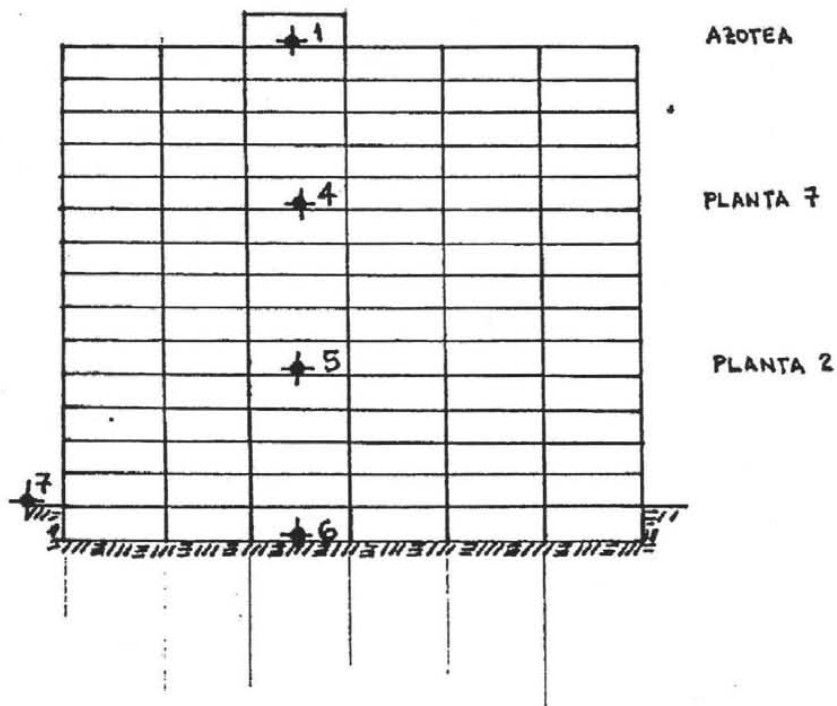
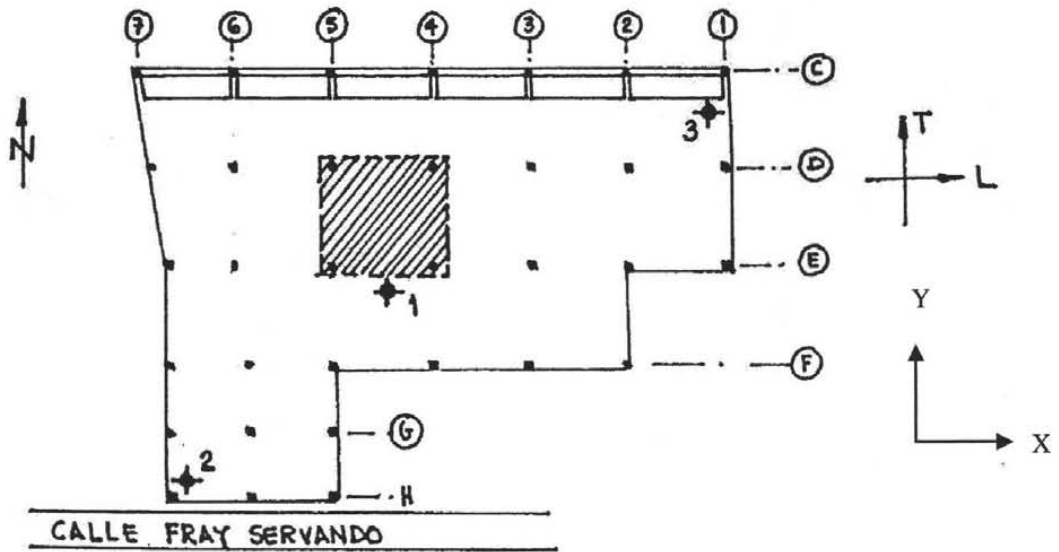


Fig. 3.1. Ubicación de sensores en el edificio y campo libre, para el registro de vibración ambiental.

### 3.3 Estimación del efecto de sitio con vibración ambiental

#### 3.3.1 Métodos para estimar los efectos de sitio.

El movimiento vibratorio que se produce debido a la propagación de las ondas sísmicas tiene diferente comportamiento al propagarse por medios geológicos diferentes. Mientras que en un medio de roca las ondas reflejan movimientos constantes en un cierto rango de frecuencias; en un medio de suelo blando, el movimiento de las partículas refleja una clara amplificación con respecto al movimiento que sufren las partículas en la roca dura para ese mismo rango de frecuencias. A este fenómeno de amplificación que sufren las partículas en un suelo blando es el que se le conoce como efecto local o efecto de sitio, (Rosenblueth, 1953).

Son varios los métodos para poder determinar los efectos de sitio, los cuales se pueden dividir en dos grupos, los cuales son:

- a) Métodos teóricos: Los cuales se basan en modelos matemáticos, utilizando información geofísica, geológica y geotécnica detallada del sitio a evaluar.
- b) Métodos empíricos: Estos modelos están basados en el análisis de registros de movimientos fuertes, débiles y de vibración ambiental.

Para ambos métodos, no se toma en cuenta los efectos laterales y reducen el problema a un modelo unidimensional (Herrera y Rosenblueth 1965; Newmark y Rosenblueth 1971), el cual es el mas simple y utilizado. Pero existen modelos en dos y tres dimensiones que podrían ser útiles para el caso de utilizarlos en una microzonificación.

La idealización del modelo unidimensional, consiste en una capa plana de suelo blando que descansa sobre un semi-espacio homogéneo y elástico, en donde el efecto sitio está caracterizado por dos parámetros principales: el valor de la amplificación relativa de sitio ( $A_r$ ) y su periodo natural de vibración ( $T_0$ ), siendo este último el recíproco de la frecuencia de resonancia.

Fuentes de información que se utilizan en los métodos empíricos.

- a) Registros de movimientos fuertes
- b) Registros de movimientos débiles
- c) Registro de vibración ambiental (microtemblores)

La ventaja principal que se tiene al utilizar registros de movimientos fuertes y débiles, es que los resultados son muy buenos, ya que se tienen aparatos en zonas de suelo duro (roca) y en el sitio de interés donde se requiere obtener el efecto de sitio (amplificaciones), logrando así obtener el efecto de una manera sencilla y bastante real.

Las desventajas principales se enfocan a la necesidad de estar condicionado a la ocurrencia natural de temblores, asimismo se requieren de instrumentos automáticos por lo que se tendrá un alto costo de mantenimiento.

Estimaciones con registros de vibración ambiental.

Estos registros de vibración ambiental son de periodo corto, y presentan un rango de frecuencias mayores a 1 Hz. Su origen son causas artificiales, en especial la actividad humana.

Existen tres técnicas empíricas empleadas para el análisis de microtemblores, las cuales son:

- a) Espectro de amplitud de Fourier
- b) Razón espectral relativa a un sitio de referencia (Técnica estándar)
- c) Razón espectral relativa a la componente vertical (Técnica de Nakamura)

Para el caso de este trabajo de tesis, solo trataré la técnica de Nakamura, misma que se utilizó para realizar el estudio de vibración ambiental de este edificio.

Nakamura (1989) realizó esta propuesta, haciendo algunas hipótesis como que los microtemblores son registros de ondas Rayleigh principalmente, además supone un medio estratificado de suelo blando que sobreyace a un espacio de suelo de roca.

Bajo las condiciones antes mencionadas y trabajando en el dominio de las frecuencias, cuatro son los espectros que se involucran en el problema. En la siguiente figura se muestra el modelo a partir del cual se desarrollan las bases de esta técnica.

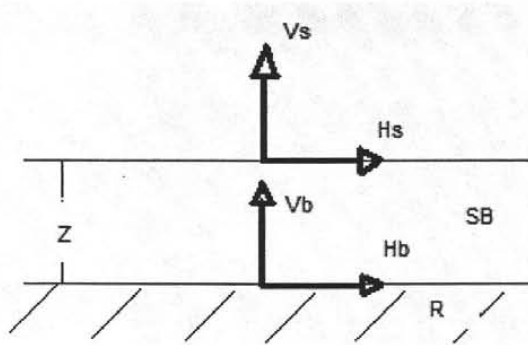


Fig. 3.2

Se trata pues de un solo estrato de suelo blando (SB), que descansa sobre un semi-espacio de roca (R); por el medio (SB) se propagan ondas Rayleigh, donde:

$V_s, H_s$ : espectros de Fourier de las componentes vertical y horizontal del movimiento en la superficie.

$V_b, H_b$ : espectros de Fourier de las componentes vertical y horizontal del movimiento en la base del estrato de suelo blando.

El efecto de la fuente de acuerdo a Nakamura esta dada por:

$$A_s = \frac{V_s}{V_b} \dots\dots\dots(\text{Ec. 1})$$

Por otro lado, una estimación del efecto de sitio está dado por:

$$SE = \frac{H_s}{H_b} \dots\dots\dots(\text{Ec. 2})$$

Para compensar SE por efecto de fuente, se define una relación espectral de efecto de sitio modificada, SM:

$$SM = \frac{SE}{As} = \frac{\frac{Hs}{Vs}}{\frac{Hb}{Vb}} = \frac{Vs}{Hb} \dots\dots\dots(\text{Ec. 3})$$

Una hipótesis final verificada por Nakamura es:

$$\frac{Hb}{Vb} = 1 \dots\dots\dots(\text{Ec. 4})$$

Por lo tanto, para todas las frecuencias de interés:

$$SM = \frac{Hs}{Vs} \dots\dots\dots(\text{Ec. 5})$$

Las ventajas del uso de esta técnica son:

- a) Trabajo de campo simple
- b) Simplicidad de análisis

La desventaja principal es que la ordenada máxima que se obtiene, generalmente es un poco menor que la real, por lo que se debe realizar un ajuste, pero es importante destacar que el periodo dominante que se obtiene tiene una aproximación muy buena con respecto a la real.

Las mediciones de microtemblores presentan grandes ventajas para la caracterización de la respuesta de sitio y para este estudio se utilizó una de las técnicas recientes como la propuesta por Nakamura en 1989. Se desarrolló un modelo matemático unidimensional representativo del

sitio a partir de un perfil de velocidades de ondas S obtenido con estudios geotécnicos cercanos a la zona de estudio.

### 3.3.2. Análisis de frecuencia.

La información que se obtiene de los sismos, es en general la variación del movimiento del suelo a lo largo del tiempo, esto considerando que se esta en el dominio del tiempo; en ocasiones resulta conveniente contemplar la señal sísmica como una superposición de ondas sinusoidales que difieren en frecuencia, amplitud y fase, las cuales se toman como funciones de transferencia y se consideran en el dominio de la frecuencia.

Al llegar las ondas sísmicas a la superficie se generan movimientos en el terreno, mismos que son registrados a través de los acelerógrafos, estos movimientos pueden tener un cambio si existe una edificación en la zona, debido a la presencia de la cimentación. Es así como el movimiento en campo libre es diferente al movimiento en la base de la cimentación, denominándose a este fenómeno como “interacción suelo-estructura”.

La forma de obtener la respuesta de un edificio ante movimientos del suelo, se relaciona con el movimiento que se presenta en el foco y el movimiento máximo de la edificación. En este enfoque es necesario obtener distintas funciones de transferencia como son:

- a) foco – campo libre
- b) campo libre – base de la estructura
- c) base de la estructura – azotea

Es necesario establecer la afectación de la interacción suelo-estructura a una edificación a al suelo, se requiere conocer la función de amplificación relativa entre el movimiento en campo libre y la base de la estructura (función de transferencia) producida por dicha interacción.



*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

Dentro de la edificación esta función de amplificación, se establece entre los movimientos registrados en la base y en la azotea, siendo este ultimo procedimiento el que permite determinar las frecuencias naturales de vibración del edificio. La relación entre los dominios del tiempo y la frecuencia fue establecida por Fourier en 1822.

Así entonces el objetivo de este tipo de estudios, es el de encontrar en los registros de “campo libre” picos (en el espectro de amplitudes de Fourier) en la frecuencia correspondiente al modo fundamental de vibrar del edificio. Para lograr lo anterior se requiere conocer la frecuencia fundamental del edificio, la cual se determina al calcular los cocientes espectrales entre los registros de la base, sótano y campo libre según sea el caso y los registros en la azotea.

Así entonces, después de haber realizado los estudios anteriores, se obtuvieron los siguientes resultados:

MODO	DIRECCIÓN T (NS)		DIRECCIÓN L (EW)		TORSIÓN	
	<i>F (Hz)</i>	<i>T (s)</i>	<i>F (Hz)</i>	<i>T (s)</i>	<i>F (Hz)</i>	<i>T (s)</i>
1	0.73	1.37	0.80	1.25	1.05	0.95
2	2.13	0.47				

Tabla 3.1. Características de vibración identificadas en el edificio

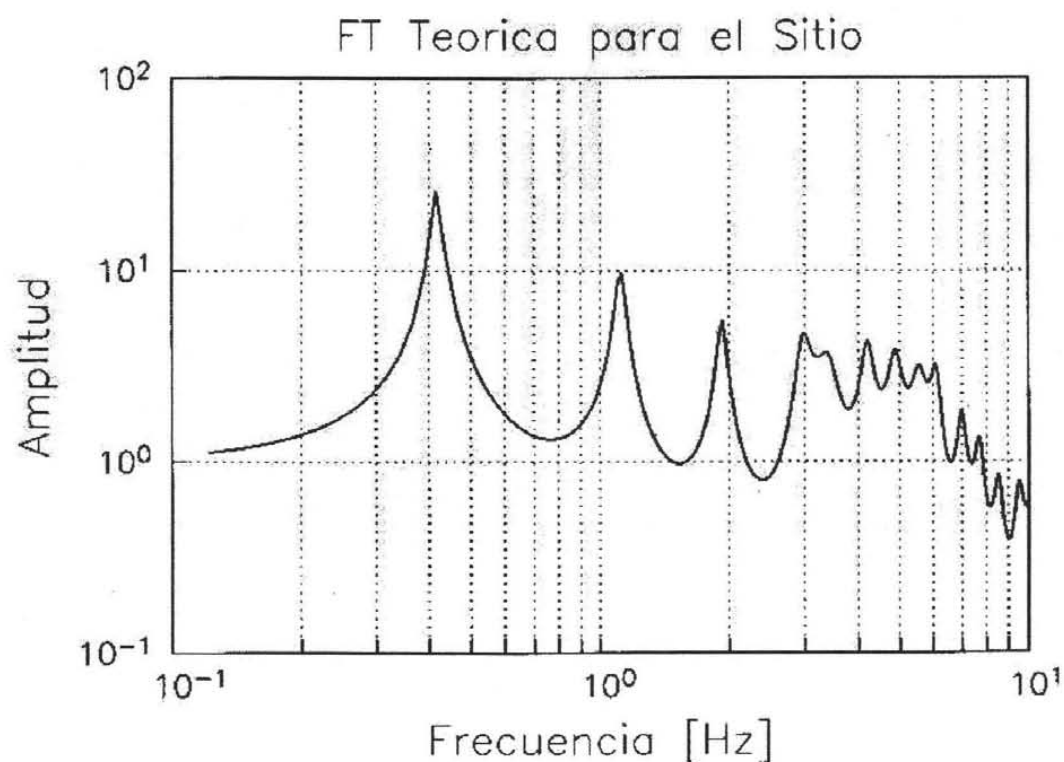


Fig. 3.3 Función de transferencia propuesta para el sitio. Esta curva se obtuvo usando el perfil de velocidades, para incidencia vertical de ondas SH.

**Características de los acelerogramas sintéticos generados para la zona de terreno firme.**

Fuente sismogénica	Ms	Función de Green	R	Duración (s)	Caída de esfuerzos	Densidad de la roca	Vs
			Km	Fuente	Bares	Gr/cm <sup>3</sup>	Km/s
Local	4.7	CU 12/07/74, Ms=3.7	11	7	50-100	2.5	2.3
Normal	6.3	CU 24/10/80, Ms=7.0	80- 200	30	15-100	3.1	3.2
Subducción	8.2	TCY 25/04/89, Ms=6.9	300	50	75-100	3.2	3.2

## CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).

Donde:

Fuente sismogénica: Son los tipos de generación de los sismos probables para la zona de estudio.

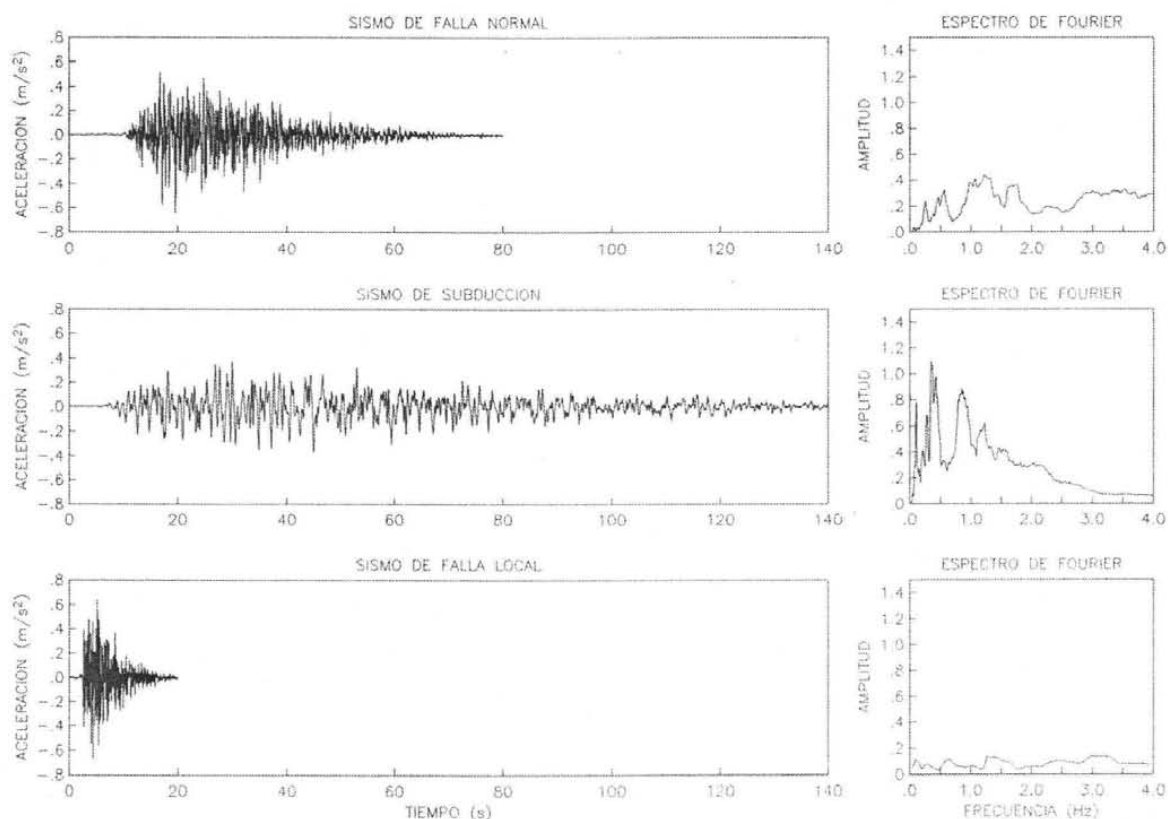
Ms: Magnitud de las ondas superficiales.

Función de Green: Es el método que se utilizó para generar los acelerogramas, tomado como base los sismos señalados.

R: Es el tamaño de la falla.

Duración: El tiempo que se tiene para los acelerogramas en segundos.

Caída de esfuerzos, densidad de la roca y velocidad de las ondas S en la roca: Son parámetros que se utilizan para la generación de los acelerogramas sintéticos necesarios para el caso en estudio.



**Fig. 3.4 Acelerogramas y espectros de Fourier de los registros sintéticos en la base del estrato**

### 3.4 Selección de datos para el sismo de subducción y diseño

- Acelerogramas y espectros de sitio para la zona de estudio. Para realizar los análisis correspondientes se seleccionó el acelerograma de diseño considerando las siguientes características

I.- Acelerograma sismo de □subducción:

4 Intensidad de Arias

5 Intensidad = 0.492 (m/s)

6 Duración de la Fase Intensa = 82.90 s

7 Duración total de la señal = 160 s

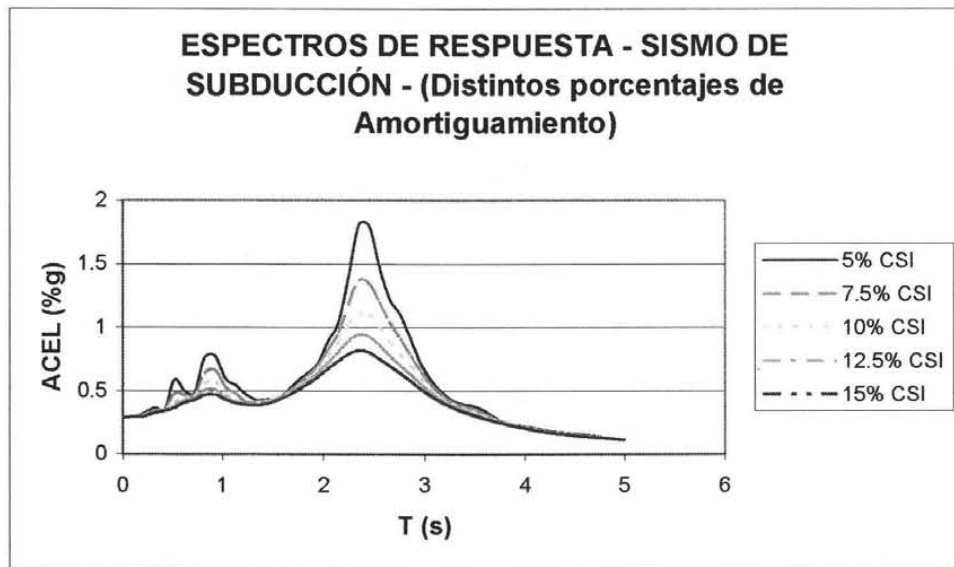
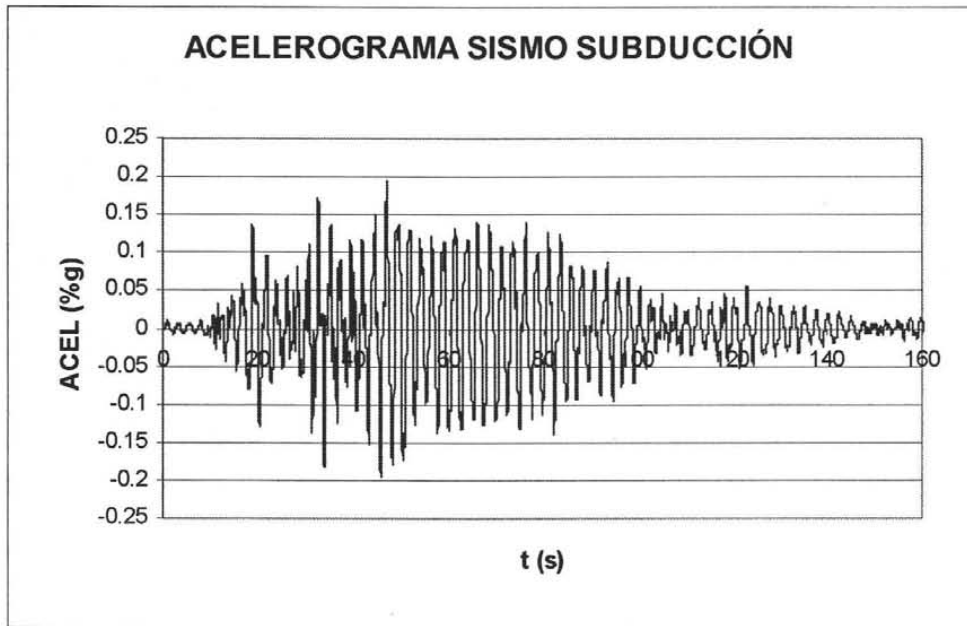


Fig. 3.5

Donde:

CSI: Porcentaje de amortiguamiento

**CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).**

II.- Acelerograma sismo de 1985 – E-W:

8 Intensidad de Arias

- Intensidad = 0.145 (m/s)
- Duración de la Fase Intensa = 37.70 s
- Duración total de la señal = 80 s

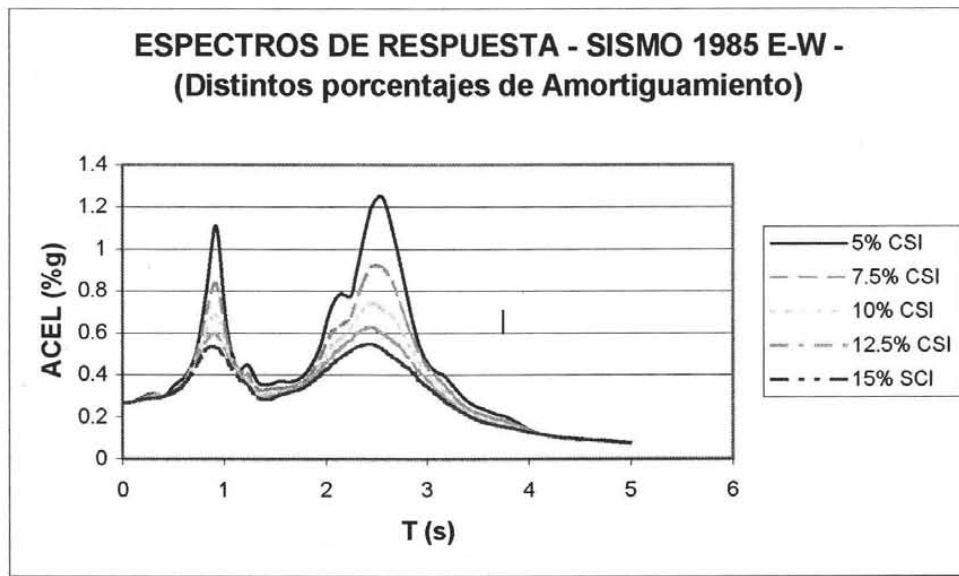
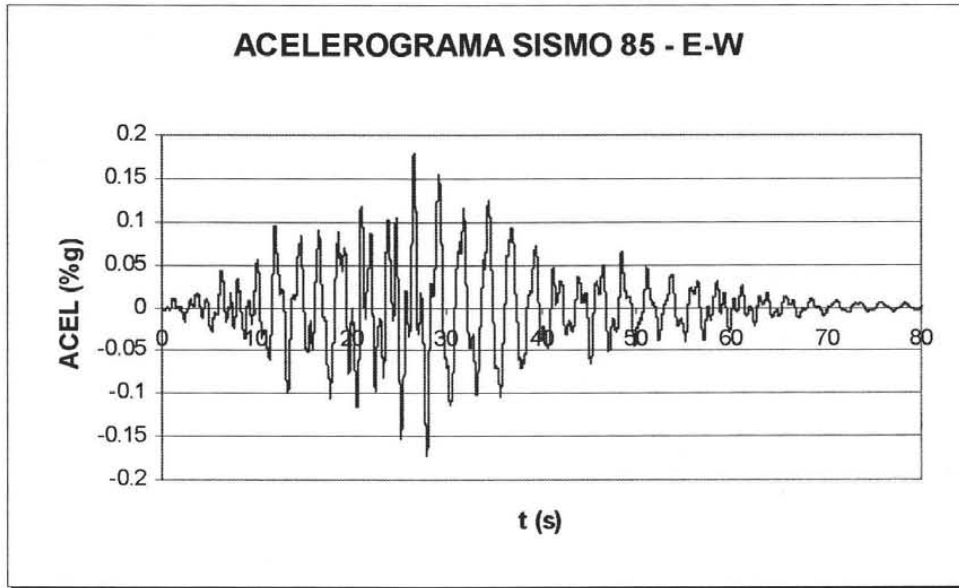


Fig. 3.6

Donde:

CSI: Porcentaje de amortiguamiento

III.- Acelerograma sismo de 1985 – N-S:

9 Intensidad de Arias

- Intensidad = 0.202 (m/s)
- Duración de la Fase Intensa = 31.00 s
- Duración total de la señal = 80 s

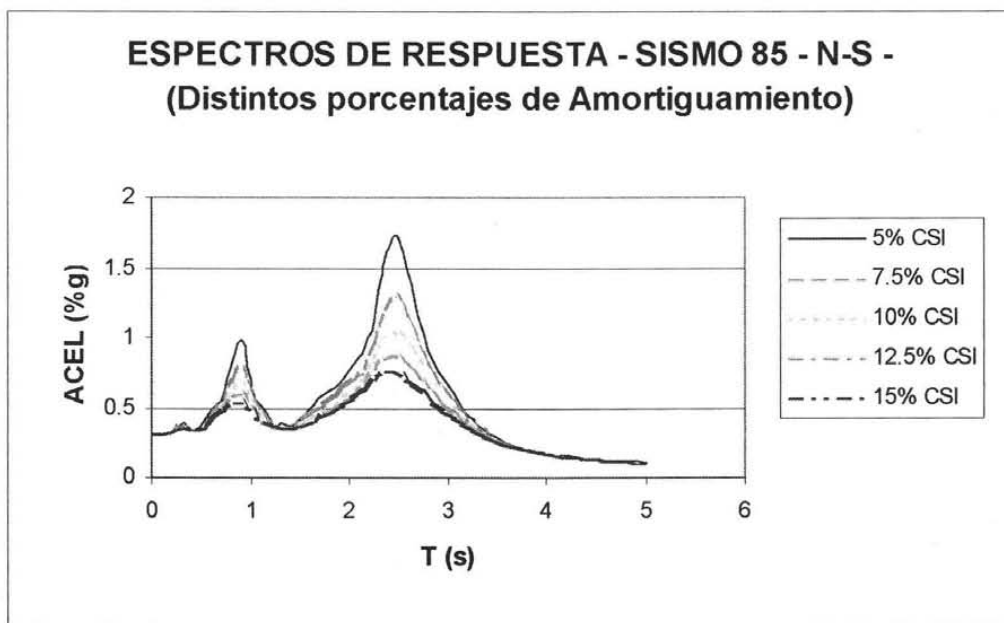
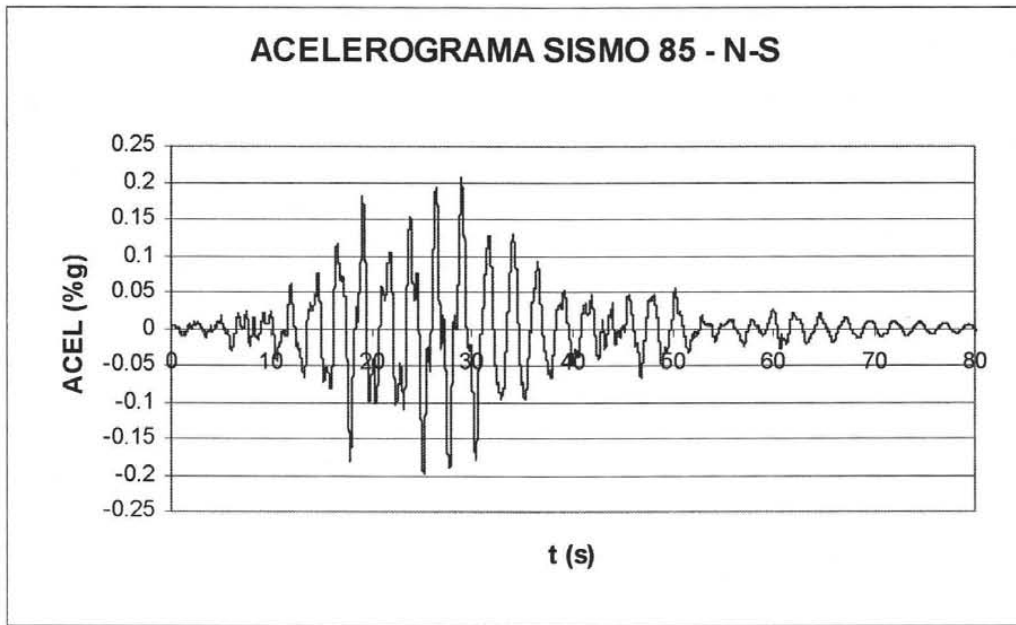


Fig. 3.7

Donde:

CSI: Porcentaje de amortiguamiento

*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

A estos acelerogramas y espectros de respuesta, no se les ha considerado el incremento del 50%, debido a que el edificio está dentro del grupo A.

De acuerdo a las características antes mencionadas, se seleccionó el sismo más desfavorable para realizar los análisis pertinentes, aunque se revisó la estructura para los demás sismos obtenidos.

### **3.5 Interacción Suelo-Estructura**

De acuerdo a los resultados obtenidos por el estudio de Vibración Ambiental, para poder calibrar el modelo matemático, se realizó el análisis de interacción suelo-estructura utilizando las expresiones del Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal, donde se obtienen las características de los resortes equivalentes para la simulación de dicho efecto, en función del tipo de suelo.

Al obtener las características de los resortes equivalentes, se realizó un modelo con el programa SAP2000, introduciendo un resorte representativo en la base simulando la acción del suelo.

Cabe mencionar que este análisis inicial, pudo ser corroborado posteriormente, ya que se proporcionaron las rigideces calculadas de los elementos reales de la cimentación (pilotes), por el profesor Enrique Tamez, obteniéndose prácticamente los mismos resultados para el modelo con el resorte equivalente calculado con las expresiones reglamentarias.

### **3.6 Resumen de Resultados Iniciales**

#### **3.6.1.- Modelo de la estructura actual.**

Se elaboró un modelo con el programa SAP2000, en el cual se colocaron los elementos actuales que constituyen a la estructura, esto nos sirvió para determinar los periodos fundamentales de la estructura y la situación en la que se encuentra actualmente.

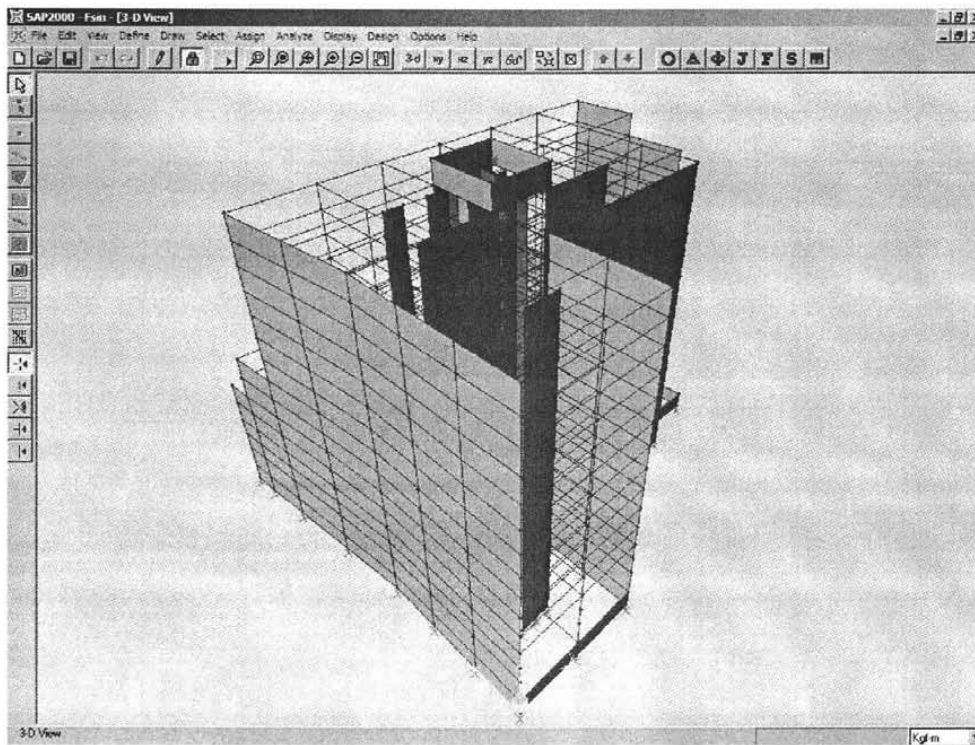


Fig. 3.8 Modelo (SAP2000)

10 Edificio soportado en base rígida. Se consideraron todos los elementos del edificio considerando que se encuentra empotrado en la base, obteniendo los siguientes resultados.

DIRECCIÓN T (NS)		DIRECCIÓN L (EW)		TORSIÓN	
<i>F</i> (Hz)	<i>T</i> (s)	<i>F</i> (Hz)	<i>T</i> (s)	<i>F</i> (Hz)	<i>T</i> (s)
1.23	0.813	1.07	0.931	1.68	0.595

Como se observa existen diferencias importantes entre estos resultados y los obtenidos en el estudio de vibración ambiental, esto se debió al no considerar la interacción suelo estructura en el modelo, como este edificio esta en la zona III, este factor es de gran importancia, mismo que se vera reflejado mas adelante.

Porcentajes de masa participante:



*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

MODE (PERCENT)	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	0.930587	54.5644	2.2860	0.0000	54.5644	2.2860	0.0000
2	0.813120	2.2578	53.8086	0.0000	56.8223	56.0946	0.0000
3	0.594652	6.7985	0.0306	0.0000	63.6208	56.1251	0.0000
.	.	.	.	.	.	.	.
29	0.021539	0.9814	0.1589	0.0000	99.6966	99.8872	0.0000
30	0.018666	0.3006	0.1126	0.0000	99.9972	99.9997	0.0000

Se puede observar que para ambas direcciones, prácticamente se tiene el 100% de la masa participante (Número de modos adecuado).

A continuación se presentan las gráficas con los modos de vibrar:

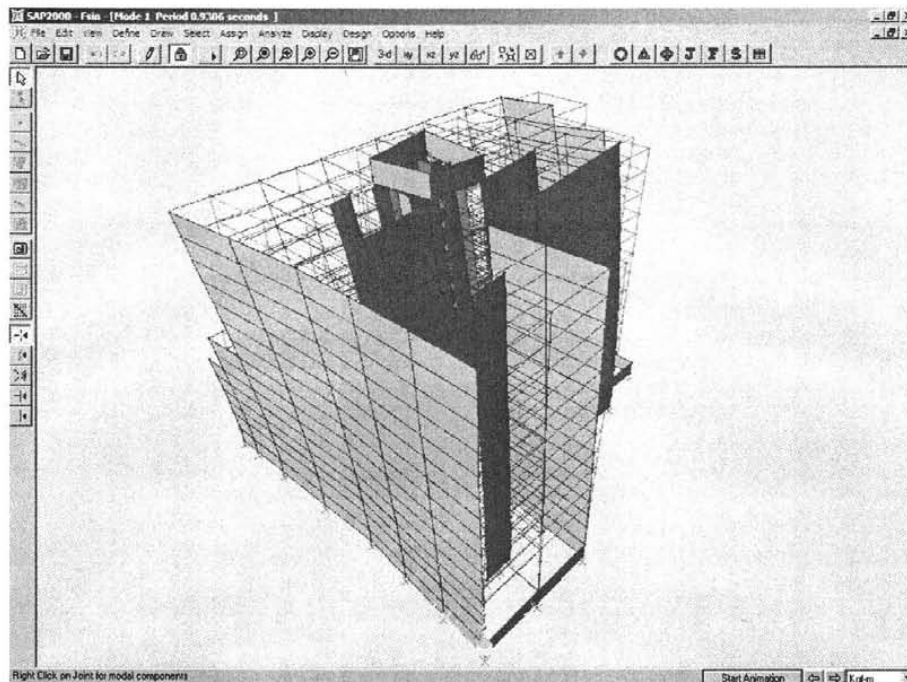


Fig. 3.9 Modo 1 (T = 0.93 s)

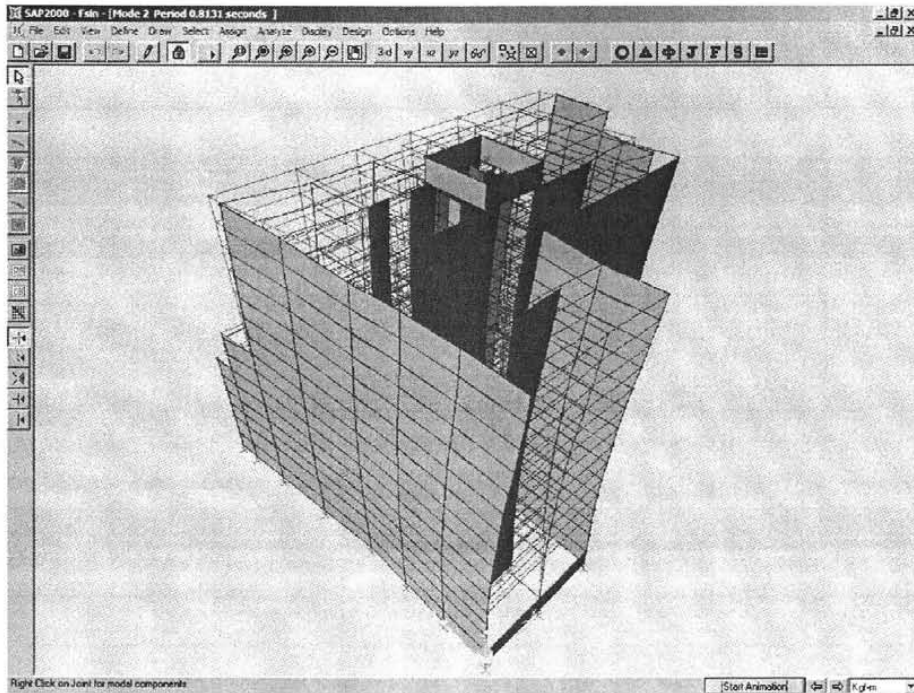


Fig. 3.10 Modo 2 (T = 0.81 s)

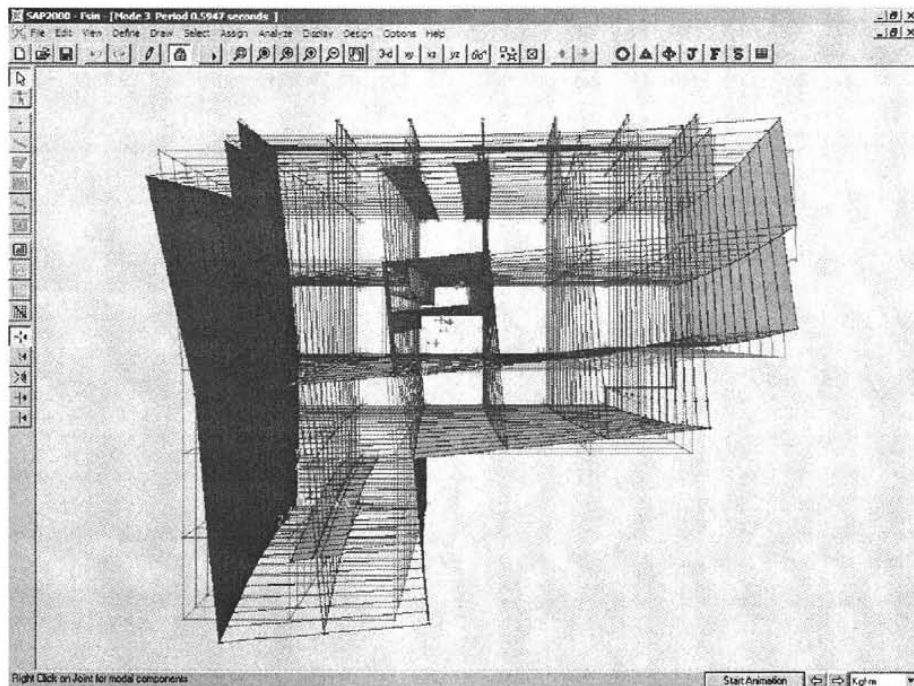


Fig. 3.11 Modo 3 (T = 0.59 s)

**CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).**

Edificio incluyendo interacción suelo-estructura. Se consideraron todos los elementos del edificio considerando que se encuentra apoyado en la base sobre un resorte equivalente, obteniendo los siguientes resultados.

DIRECCIÓN T (NS)		DIRECCIÓN L (EW)		TORSIÓN	
<i>F</i> (Hz)	<i>T</i> (s)	<i>F</i> (Hz)	<i>T</i> (s)	<i>F</i> (Hz)	<i>T</i> (s)
0.738	1.355	0.751	1.331	1.57	0.635

Porcentajes de masa participante:

MODE (PERCENT)	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	1.355652	23.2636	62.1622	0.0000	23.2636	62.1622	0.0000
2	1.331415	62.8456	23.4959	0.0000	86.1092	85.6580	0.0000
3	0.634877	2.8303	0.0002	0.0000	88.9395	85.6583	0.0000
29	0.021781	0.0001	0.0000	0.0000	100.0000	100.0000	0.0000
30	0.020101	0.0000	0.0000	0.0000	100.0000	100.0000	0.0000

Se puede observar que para ambas direcciones, se tiene el 100% de la masa participante (Número de modos adecuado).

A continuación se presentan las gráficas con los modos de vibrar:

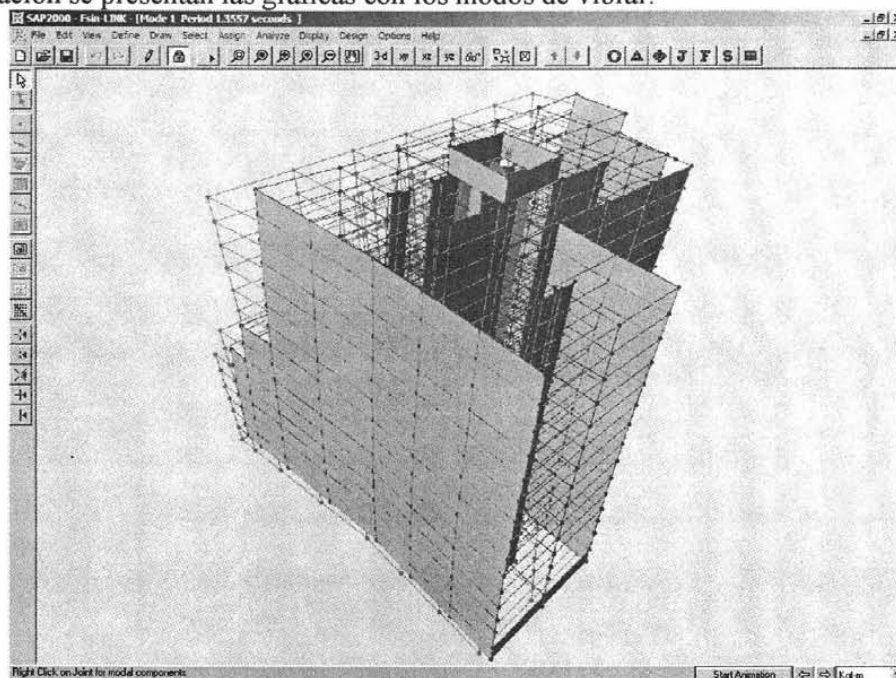


Fig. 3.12 Modo 1 (T = 1.35 s)

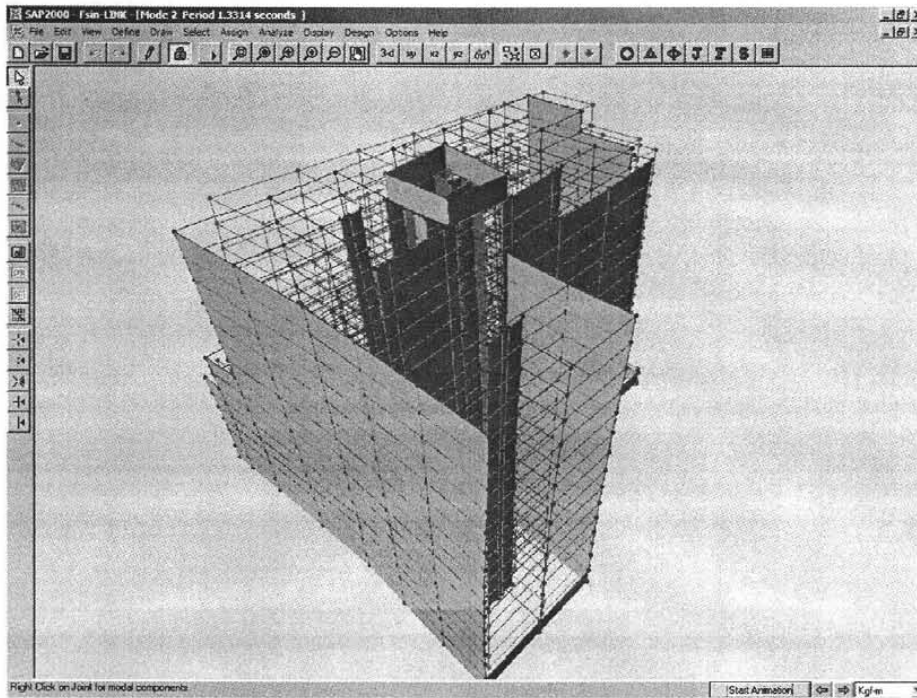


Fig. 3.13 Modo 2 ( $T = 1.33 \text{ s}$ )

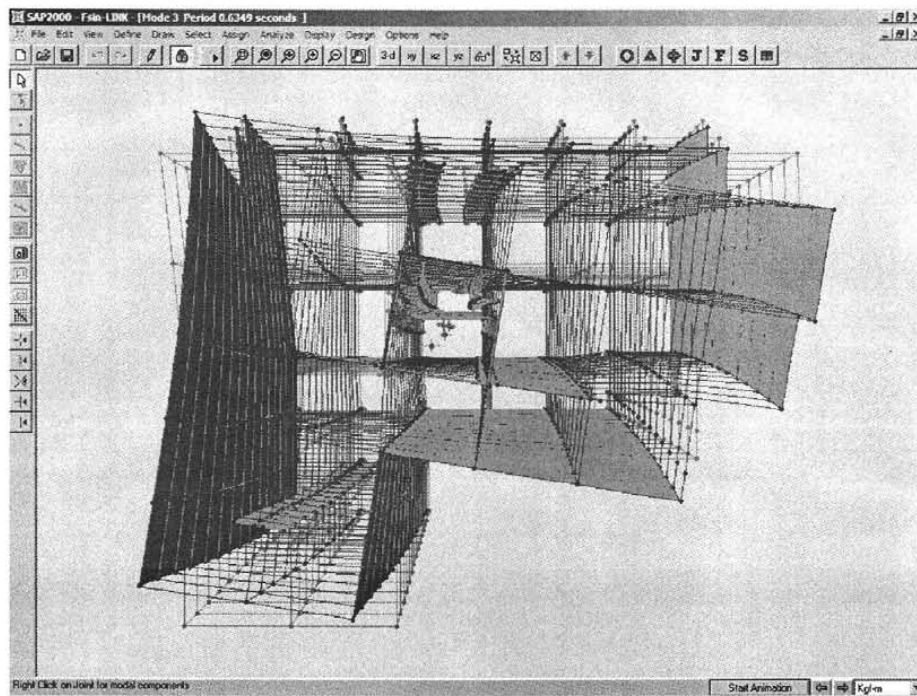
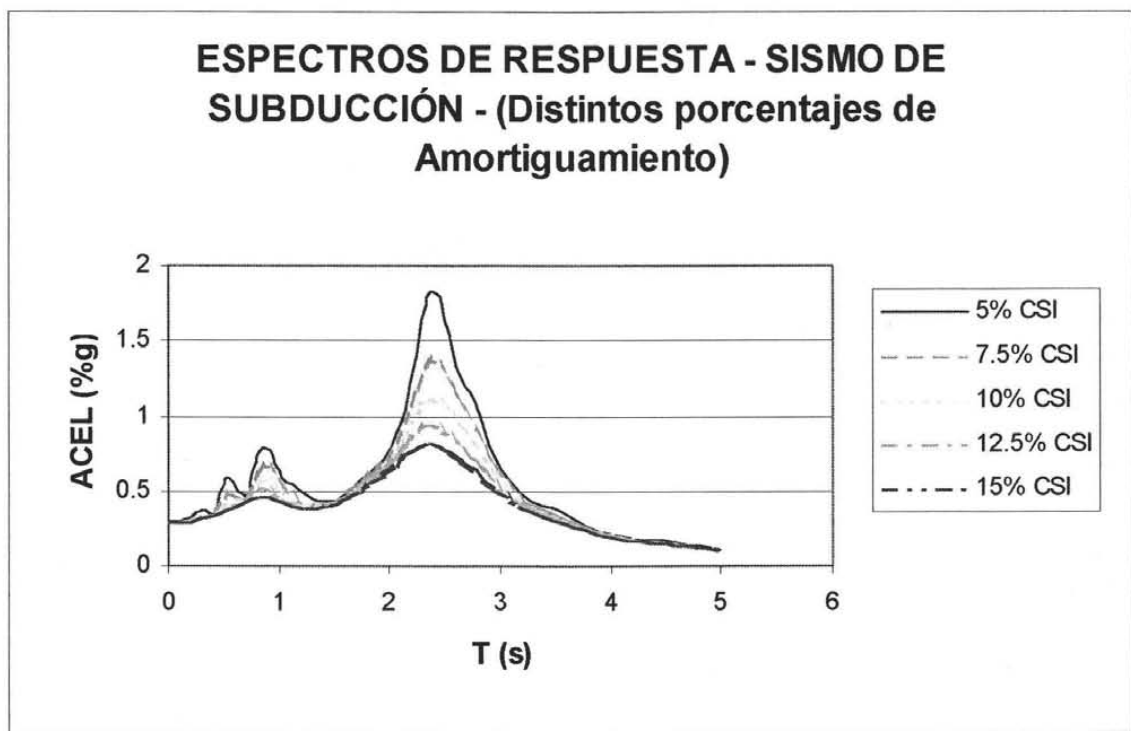


Fig. 3.14 Modo 3 ( $T = 0.63 \text{ s}$ )

Como se puede observar los resultados obtenidos con el modelo considerando interacción suelo-estructura son muy parecidos a los obtenidos mediante el estudio de vibración ambiental, esto comprueba que al estar el edificio apoyado en un suelo blando, la respuesta dinámica del edificio es altamente influenciada por la cimentación, tanto que cambia la dirección de los modos principales de vibración, tal y como lo muestra el estudio de vibración antes mencionado.

Después de seleccionar el sismo de diseño “Acelerograma del sismo de subducción”, se obtuvo el espectro de respuesta para distintos tipos de amortiguamiento:



*Fig. 3.15 Espectros de respuesta para el sismo de subducción para distintos porcentajes de amortiguamiento.*

Donde:

CSI: Porcentaje de amortiguamiento.

La figura anterior, muestra con claridad la existencia de un segundo modo dominante para el periodo de 0.92 s, periodo que coincide con el 1er. modo obtenido para el edificio empotrado en la base. Asimismo, para el periodo obtenido considerando interacción suelo-estructura las ordenadas espectrales son menores y la estructura no presentaría ningún problema ante un sismo como el seleccionado.

Debido a las grandes incertidumbres existentes tanto en la estructura como en el suelo, sería irresponsable el considerar que el periodo de la estructura estará en el rango de ordenadas menores, es decir, al realizar estos análisis se consideran propiedades de los elementos como dimensiones, resistencias, módulos de elasticidad, etc, que en la realidad no se sabe si las cumplen o no; de igual manera, las características del suelo son muy variables.

Asimismo, la estructura podría presentar algún comportamiento no lineal en algunos elementos estructurales, que provocarían un cambio en los periodos de vibración del edificio.

Por todo lo anterior, nada garantiza que el edificio se comporte de la manera que más convenga al diseño, es decir, que de acuerdo al periodo teórico calculado se encuentra en una parte del espectro de respuesta, donde las aceleraciones sísmicas son mínimas.

Para poder asegurar que la estructura se comportará de una manera adecuada ante sismos intensos, se decidió realizar el análisis con el edificio empotrado en la base, esto para considerar las mayores ordenadas espectrales y así poder cubrir cualquier variación en el periodo que pudiera presentarse la interacción suelo-estructura, como se ve, será benéfica.

Asimismo, para poder considerar de otra manera las variaciones antes descritas, se solicitó la elaboración de un nuevo conjunto de acelerogramas, cambiando el contenido de frecuencias, de tal manera de obtener una variación en los espectros de respuesta, tanto a la derecha como a la izquierda de los valores pico, en un 10% para cada lado.

A continuación se muestran las gráficas con los espectros de respuesta para los sismos de subducción y del 85 en su componente EW, con sus espectros considerando la variación en el contenido de frecuencia, tanto a la izquierda como a la derecha de los valores máximos, comparados con el espectro reglamentario.



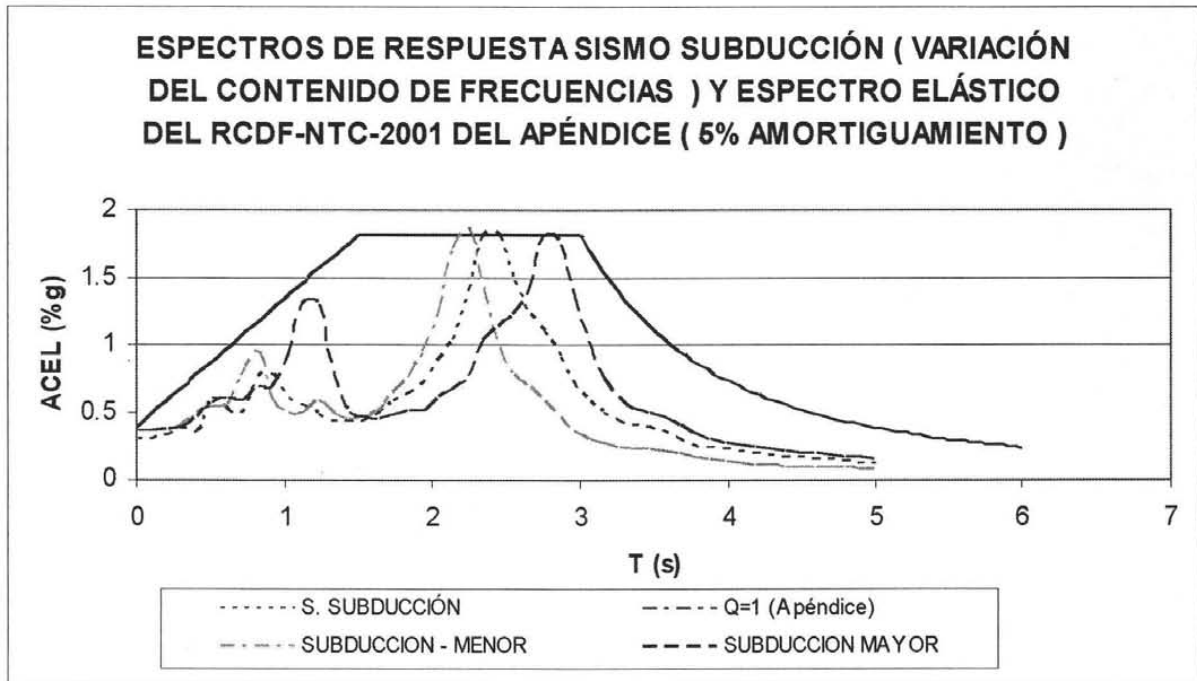


Fig. 3.16 Variación del contenido de frecuencias en los acelerogramas Sismo de subducción

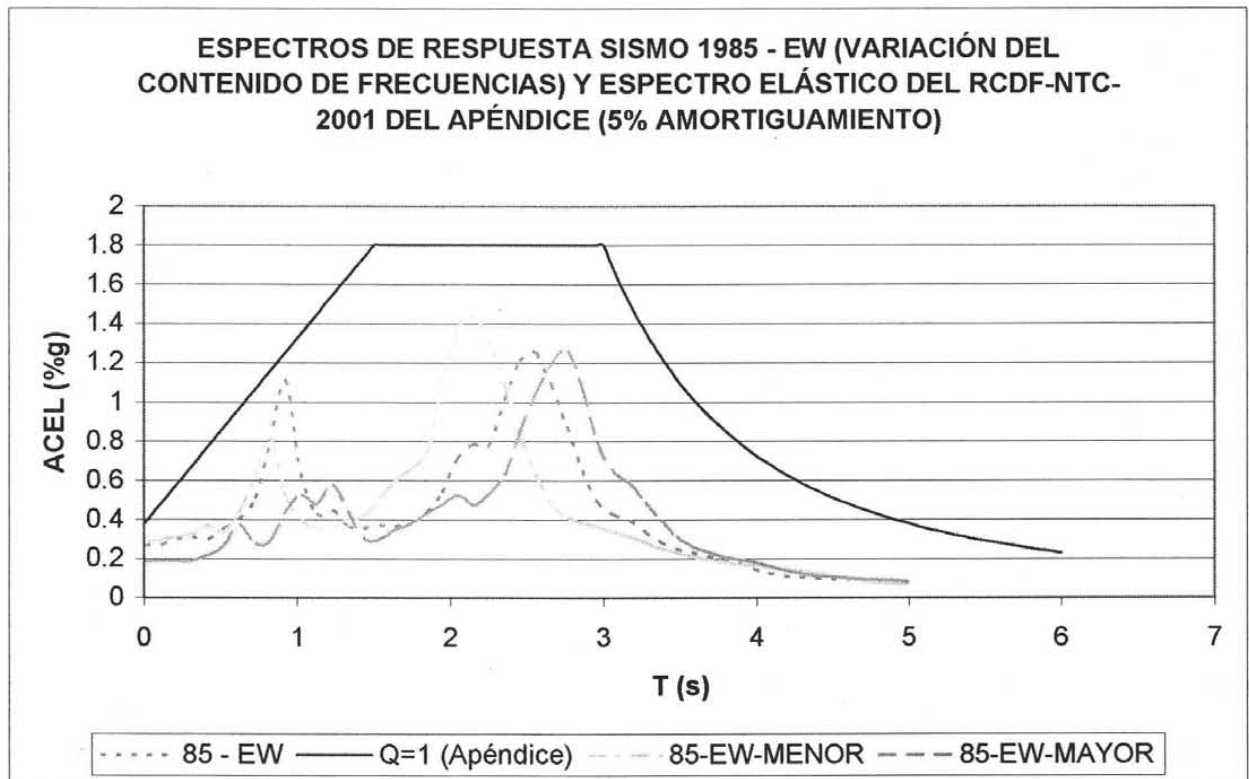


Fig. 3.17 Variación del contenido de frecuencias en los acelerogramas Sismo del 85, componente EW

Nota: la nomenclatura mayor o menor significa que se vario el contenido de frecuencias para considerar un periodo menor (corrimiento de los picos a la izquierda) o mayor (corrimiento a la derecha), según sea el caso.

La diferencia que se observa entre las ordenadas máximas de estos espectros de respuesta (acelerograma sintético de falla normal) con el espectro reglamentario, se debe a que este sismo es de menor magnitud que el sismo de subducción.

Con todas las consideraciones antes tomadas, se puede asegurar que los análisis realizados cumplen con los requisitos reglamentarios, ya que están incluidas todas las variaciones que se puedan tener tanto en la estructura como en el sitio y sus respectivos sismos.

### 3.6.2 Análisis de historia en el tiempo del edificio actual

Se realizó un análisis paso a paso para la estructura actual sin reforzamiento utilizando el acelerograma del sismo de subducción “multiplicado por 1.5 “, debido a ser estructura del grupo A y un factor de comportamiento sísmico  $Q=1$  (elástico); obteniéndose los siguientes resultados:

<b>Características del Modelo</b>	<b>Cortante Basal (Ton) Dirección X</b>	<b>Cortante Basal (Ton) Dirección Y</b>	<b>Desplazamiento total (cm) Dirección X</b>	<b>Desplazamiento total (cm) Dirección Y</b>
Estructura actual en base rígida.	12780	15440	19.11	16.84

Esto se obtuvo para poder llevar a cabo una comparativa real, con los resultados del edificio con disipadores de energía y poder observar que tanta ganancia se tendría en aspectos como el cortante basal y los desplazamientos máximos en azotea, cabe mencionar que no se esta considerando ningún factor de comportamiento sísmico ( $Q=1$ ), esto para poder determinar de una manera más precisa la influencia neta del sistema de disipación pasiva de energía utilizado.



## Capítulo IV

# Rehabilitación Sísmica de la Estructura

---

### 4.1 Descripción del tipo de rehabilitación sísmica utilizada.

Hoy en día los avances tecnológicos hacen posible la aplicación de la disipación pasiva de energía para mejorar la respuesta de las estructuras en zonas de alta sismicidad, ya sea para el diseño de estructuras nuevas, como para la rehabilitación de edificios dañados principalmente por los grandes sismos o bien, para aumentar el grado de seguridad y confiabilidad estructural de edificios existentes, como es el caso que nos ocupa, el cual consiste en reclasificar el grupo al cual pertenece actualmente el edificio reglamentariamente, según su uso; del grupo B1 al grupo A.

Debido al tipo de terreno que existe en la Ciudad de México, las cimentaciones para estructuras importantes son complejas, y en el caso de algún reforzamiento, las descargas a la cimentación podrían cambiar considerablemente, lo que podría provocar fallas en la cimentación existente.

Usando las técnicas de disipación pasiva de energía, se pretende disminuir el valor de las ordenadas espectrales al mismo valor que las reducidas por ductilidad, incrementándose su amortiguamiento interno por lo que las fuerzas sísmicas disminuyen y sus descargas a la cimentación también, pudiendo inclusive aceptar mayores demandas sísmicas que aquellas para las cuales el edificio se diseñó o reforzó originalmente, sin incrementar las cargas para las cuales la cimentación se diseñó originalmente, por lo que la cimentación seguirá teniendo un comportamiento adecuado sin arriesgar su seguridad estructural.

El criterio de análisis se basa principalmente en los espectros de diseño reglamentarios, es decir, para el caso del edificio en estudio y considerando el uso actual que tiene, la ordenada espectral máxima (c) dividida entre el factor de reducción de fuerzas por comportamiento sísmico  $Q'=(2*0.8)=1.6$  es de 0.40. Bajo estas características el edificio fue diseñado para

cumplir con los requisitos de resistencia y de servicio que marcaban las Normas de Emergencia editadas en 1985.

Para convertir este edificio al tipo A, los valores del coeficiente sísmico se deberán multiplicar por 1.5, lo que trae por consecuencia que las ordenadas espectrales y por consecuencia las fuerzas inerciales tengan valores 50 % mayores de las que es el edificio (superestructura y cimentación) fue diseñado.

Llevar a cabo un reforzamiento convencional del edificio, tendría consecuencias negativas debido a dos factores importantes:

a) se tendrían que robustecer las secciones de la estructura, lo que implicaría un gran incremento del peso y las masas del edificio, por lo que las fuerzas sísmicas serían mayores.

b) esos aumentos en cargas y fuerzas se reflejarían directamente en la cimentación, por lo que sería necesario reforzar de forma importante dicha cimentación, alterando el comportamiento estable que tiene actualmente la estructura.

Considerando la distribución interior de espacios, las dimensiones de las crujeas y las características dinámicas del edificio (distorsiones de entrepiso, periodo fundamental, velocidades en los entrepisos, etc.) el reforzamiento se resolvió a base de marcos contraventeados, donde se colocaron dispositivos disipadores de energía del tipo viscoso (Tipo Taylor). Las figuras 4.1 a 4.3 muestran los esquemas de reforzamiento propuesto, en planta y elevación.

Cabe mencionar que las distorsiones de entrepisos son bajas, así entonces al colocar los amortiguadores en un contraventeo convencional de un nivel a otro nivel, se observó que los dispositivos no tenían gran trabajo de disipación por sus bajos desplazamientos con este arreglo. Ante esta situación se propusieron los contraventeos que abarcaron 3 niveles con un solo amortiguador en uno de los extremos; logrando así un trabajo de amortiguamiento aceptable.

Otro aspecto a considerar, es el tipo de estructuración actual, ya que con los muros de concreto se logró incrementar la rigidez global del edificio, siendo innecesario colocar amortiguadores que

**CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).**

podieran incrementar esta rigidez, como el caso de amortiguadores a base de trabajo histerético (ADAS, U, TADAS, etc).

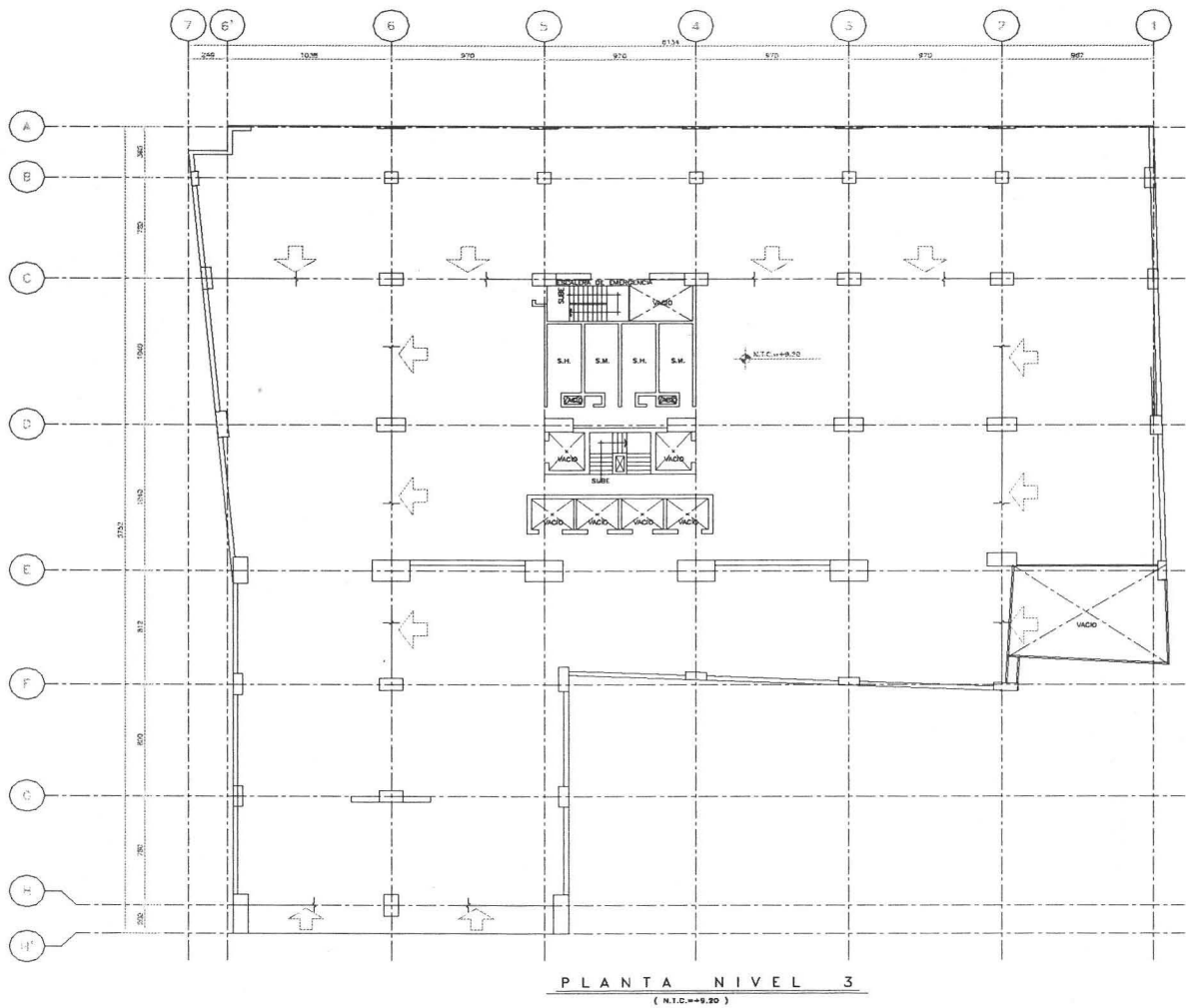
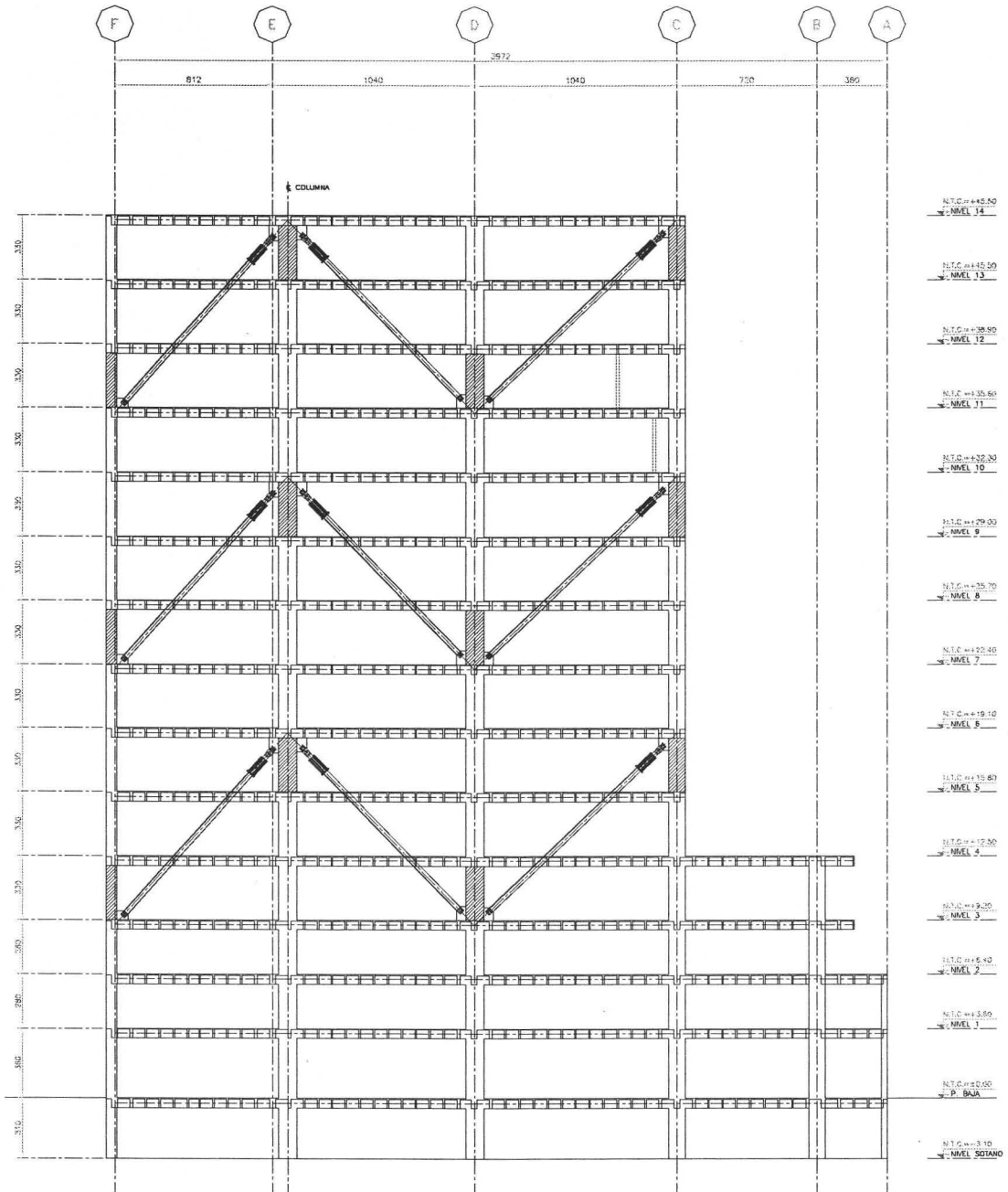


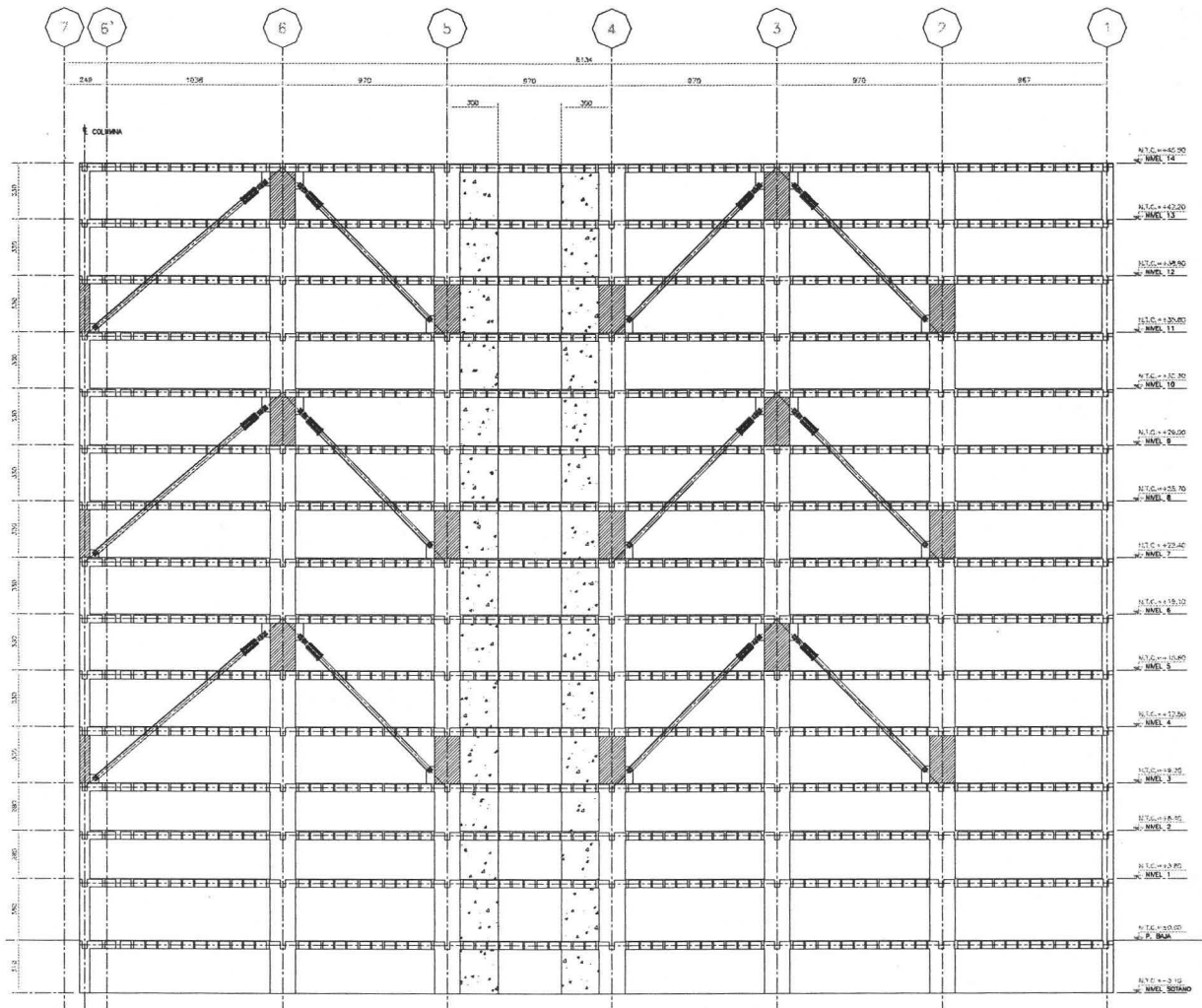
Fig. 4.1



ELEVACION SOBRE EJE 2

Fig. 4.2

**CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).**



ELEVACION SOBRE EJE C

Fig. 4.3

## Capítulo V

# Análisis Realizados y Resultados Obtenidos

Partiendo de los resultados que se obtuvieron para la estructura sin reforzar, se realizaron los análisis necesarios (Análisis sísmicos dinámicos de Historia en el tiempo y modal espectral), e implantando el sistema de disipación pasiva de energía, se realizaron los mismos análisis para el caso de la estructura sin reforzar, mostrándose a continuación los resultados obtenidos:

### 5.1 Análisis de historia en el tiempo del edificio con amortiguadores

Después de varios análisis de este tipo, cambiando la posición, número y propiedades de los dispositivos disipadores de energía, se logró un arreglo de amortiguadores óptimo, obteniéndose los siguientes resultados:

Características del Modelo	Cortante Basal (Ton) Dirección X	Cortante Basal (Ton) Dirección Y	Desplazamiento total (cm) Dirección X	Desplazamiento total (cm) Dirección Y
Estructura con amortiguadores en base rígida.	12340	12030	13.84	11.68

### 5.2 Amortiguamiento suplementario

Para determinar el amortiguamiento suplementario obtenido al colocar los dispositivos disipadores de energía en la estructura, se utilizaron varios métodos que se describirán brevemente a continuación:

Amortiguamientos obtenidos del edificio Fray Servando con disipadores de Energía:

Características del modelo	DIRECCION	CARGA DE IMPULSO	COEFICIENTE SÍSMICO	GRÁFICA DE ENERGÍA	METODO MATRICIAL
Con amortiguadores	X-X	11.03%	9%	10%	9.24%
	Y-Y	9.65%	9.20%	9.50%	10.80%

donde:

Carga de Impulso.- Se introdujo una carga de impulso al edificio, se dejó vibrar libremente y con la expresión del decremento logarítmico se calculó el amortiguamiento.

Coefficiente Sísmico.- Con el cortante basal obtenido, el peso de la estructura y los porcentajes de masa participante de cada modo se obtuvo un coeficiente sísmico, el cual junto con el periodo de la estructura formó el par de valores, que al introducirlos a la gráfica de los espectros de respuesta para distintos porcentajes de amortiguamiento, para el acelerograma utilizado, nos dio el valor mostrado en la tabla.

Gráfica de energía.- Una forma cualitativa de obtener este amortiguamiento es comparando los valores de la grafica de energía, en la cual nos indica la cantidad que es disipada por la estructura (modal damping) y la disipada por los amortiguadores (NDamp energy).

Método Matricial.- Es un método que fundamentalmente es el resolver la siguiente expresión:

$$\zeta = (\Phi C \Phi^t) / (\Phi m \Phi^2)$$

Especificado en la publicación de Pekcan, Mander & Chen (Ref. 3).

Debido a los resultados que se obtuvieron en cada uno de los métodos antes mencionados, se decidió utilizar el 10 % de amortiguamiento para ambas direcciones, como un valor promedio de todos los calculados.



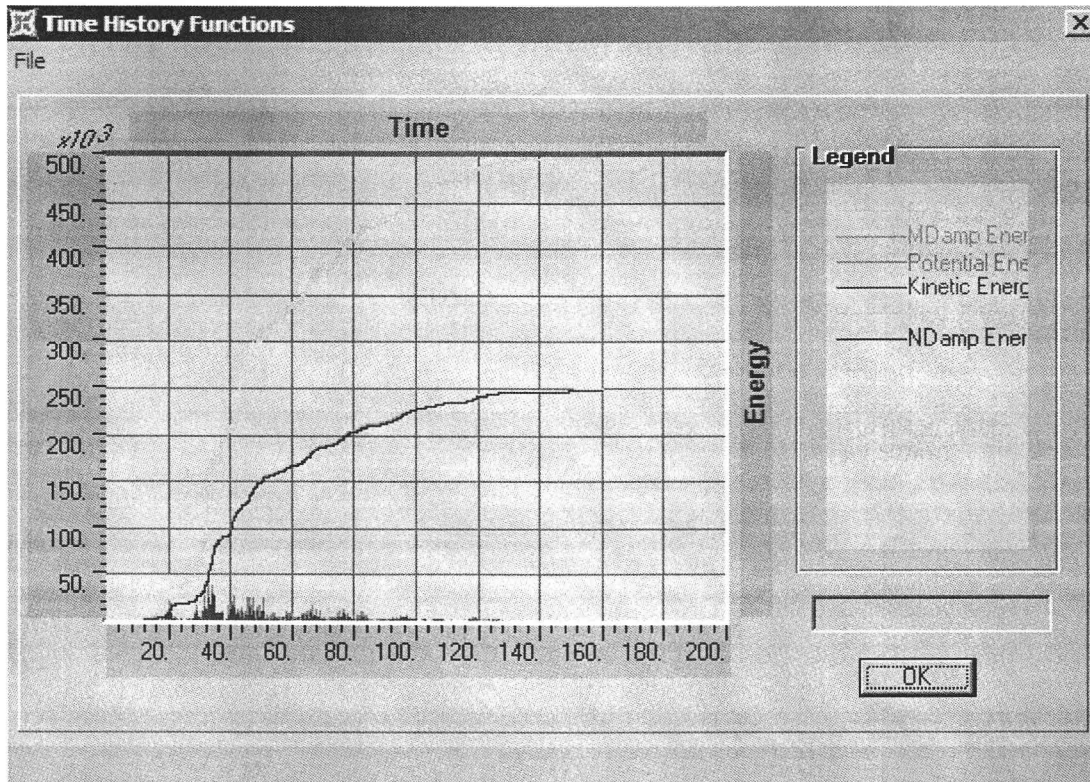


Fig. 5.1 Gráfica de energía

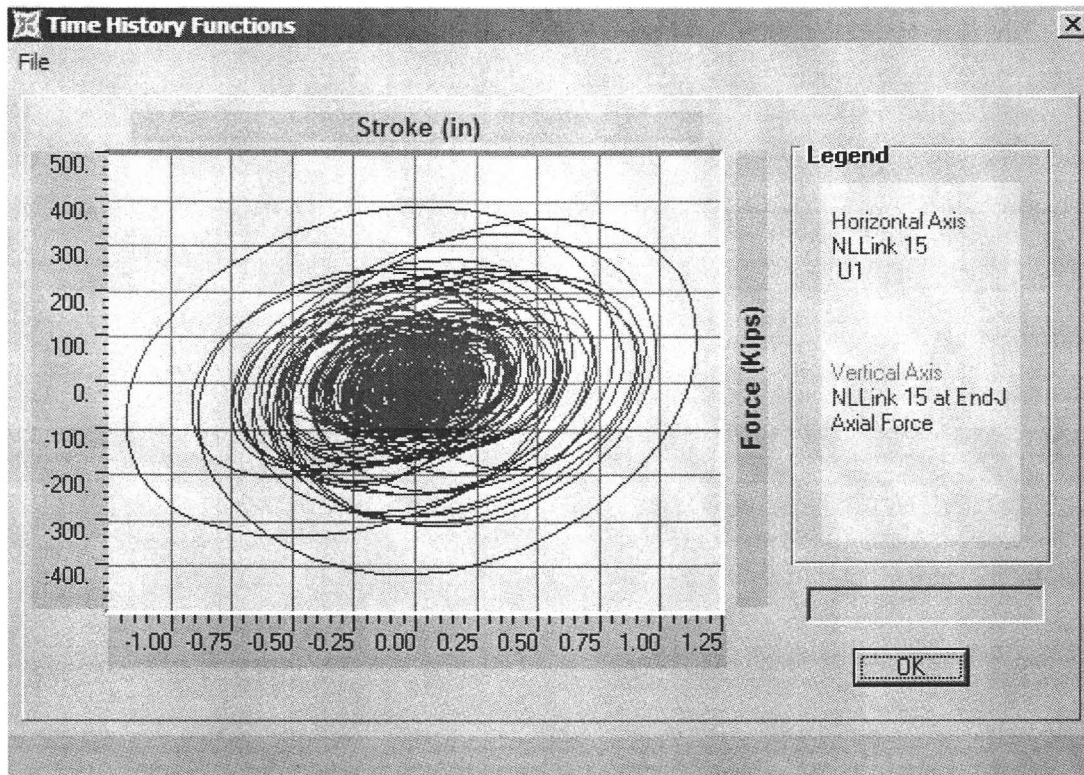


Fig. 5.2 Comportamiento de amortiguadores



### **5.3 Análisis modal espectral**

Después de haber obtenido el porcentaje de amortiguamiento total, se realizó un análisis modal espectral utilizando el espectro de diseño del Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal, reduciéndolo por amortiguamiento (para este caso se considero como referencia el FEMA 273-274) y por un factor de reducción por comportamiento sísmico  $Q' = 2(0.8) = 1.6$ .

Además, se realizó el diseño estructural, donde se observó que este edificio cumple con los requisitos necesarios de resistencia y servicio; tanto para el caso de estructura del grupo A con amortiguadores sísmicos como para el caso de la estructura en su estado actual (dentro del grupo B1).

Al realizar este análisis, se obtuvieron los siguientes desplazamientos totales de azotea:

Dirección X-X  $d = 12.40$  cm

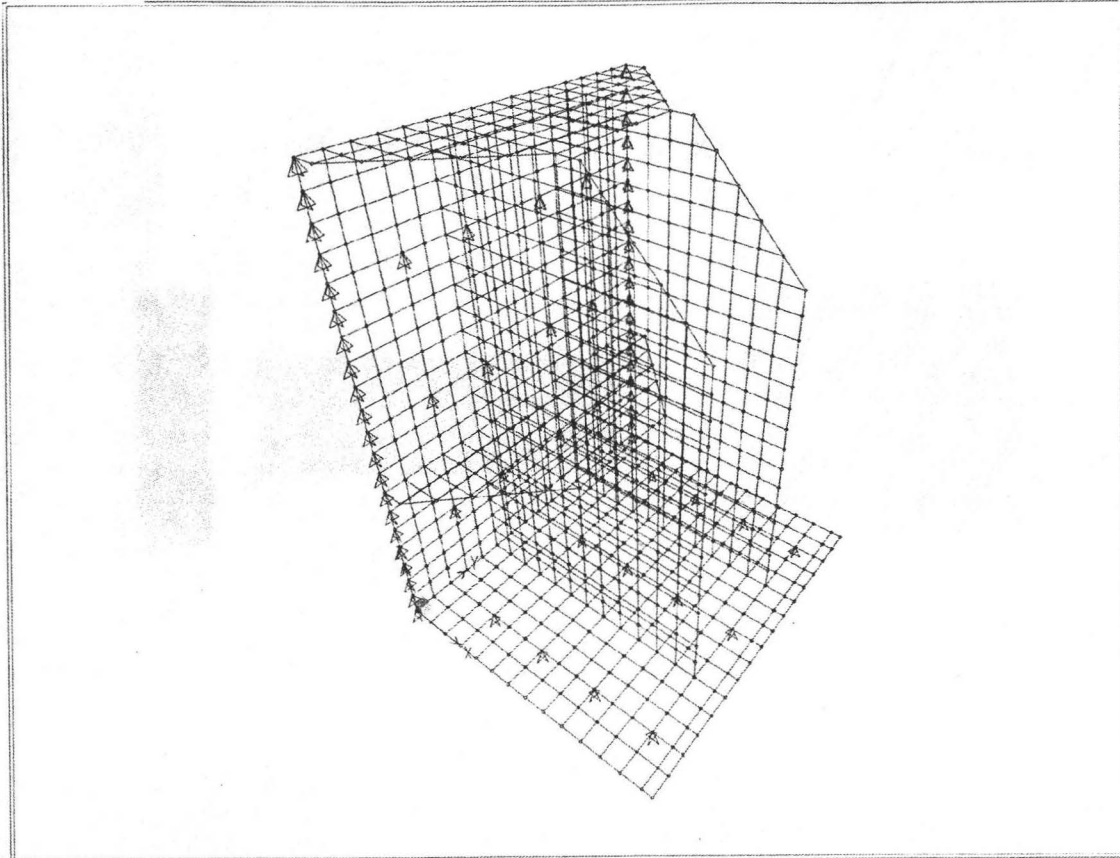
Dirección Y-Y  $d = 11.61$  cm

### **5.4 Análisis de elemento finito en conexiones**

Debido al arreglo de elementos para la implantación del sistema de disipación de energía, se decidió elaborar modelo con análisis de elemento finito (Sap2000), para las conexiones más representativas entre los contraventeos con amortiguadores y la estructura, esto para determinar la influencia local de estos nuevos elementos en zonas críticas del edificio.

SAP2000

4/23/01 17:30:02



SAP2000 v7.40 - File:Conexion2 - 3-D View - Kgf-cm Units

Fig. 5.3 Conexión sin deformar

En esta gráfica se observa la discretización que se realizó, para poder realizar un análisis de elemento finito y determinar los elementos mecánicos que actúan tanto en las placas y en cada uno de los pernos colocados para el caso de las conexiones típicas y para las distintas combinaciones de carga que actúan en dichas conexiones.

SAP2000

4/23/01 17:32:06

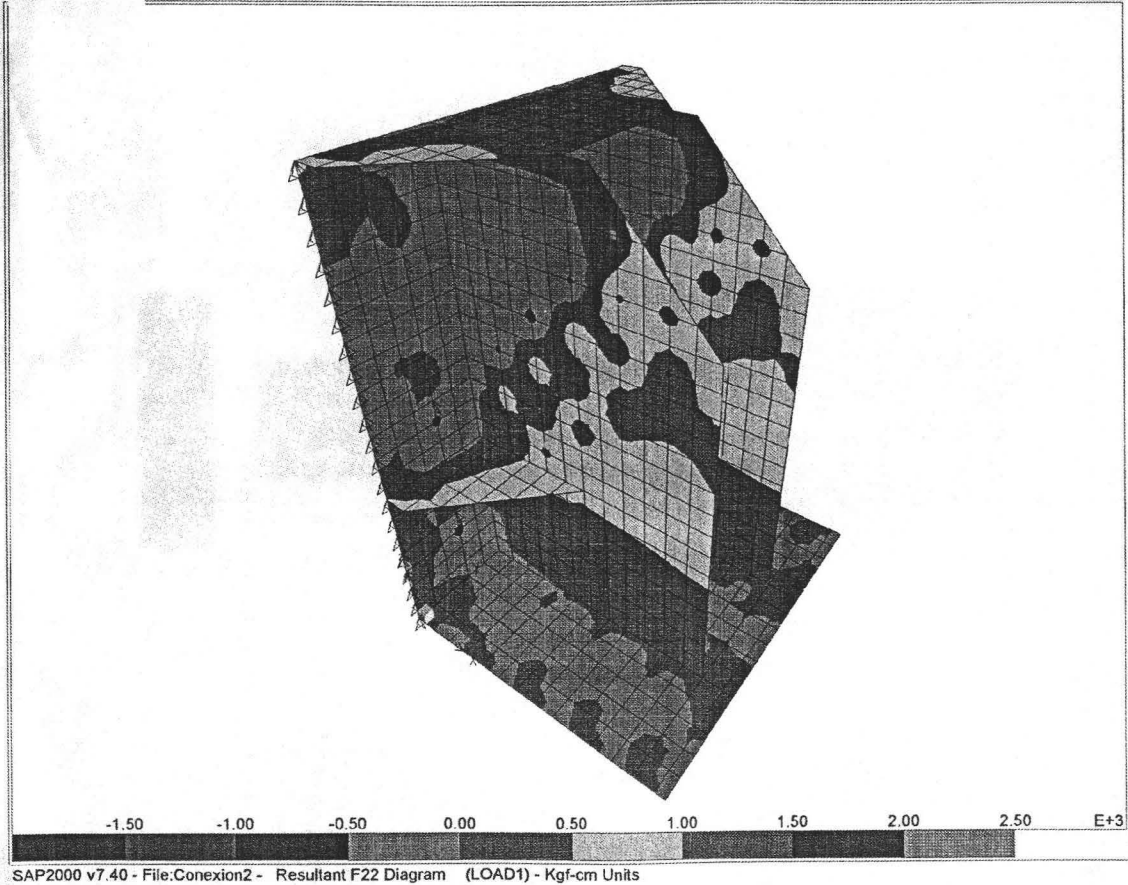


Fig. 5.4 Esfuerzos en conexión

Esta gráfica representa un ejemplo de una conexión típica, mostrándose los esfuerzos que se desarrollan en las placas de conexión, para su diseño; asimismo se pudo determinar las reacciones en todos y cada uno de los pernos que fijan estas placas al concreto y así determinar las características de los pernos a utilizar.

## Capítulo VI

# Resumen de Resultados y Conclusiones

### 6.1. Resumen de Resultados

Después de haber realizado los análisis antes mencionados se presentan las tablas comparativas de los resultados obtenidos.

1.- ANÁLISIS DE EL EDIFICIO UTILIZANDO EL ACELEROGRAMA PARA EL SISMO DE SUBDUCCIÓN						
Nombre del modelo	Características del modelo	PERIODO	VB(x)	VB(y)	Dx	Dy
		(s)	(Ton)	(Ton)	(cm)	(cm)
FSIN.SDB	Sin amortiguadores	0.931	12780	15440	19.11	16.84
	Base rígida					
Fsin-link.SDB	Con amortiguadores	0.931	11920	12050	14.69	11.91
	Base rígida					
	Porcentaje de reducción =		6.73%	21.96%	23.13%	29.28%

Como se puede apreciar en la tabla anterior, se logró disminuir tanto el cortante basal como los desplazamientos máximos en los porcentajes señalados, cabe mencionar que esta tabla se elaboró para el análisis de historia en el tiempo, utilizando el acelerograma del sismo de subducción (multiplicado por 1.5) y un factor de comportamiento sísmico  $Q = 1$  (elástico).

Estas reducciones son debidas al amortiguamiento suplementario que se esta logrando en la estructura, esto se observa también en los espectros de respuesta que son reducidos por dicho efecto.

De acuerdo a los análisis antes realizados por otros, el edificio considerado como estructura del tipo B, y un factor de reducción de fuerzas sísmicas por comportamiento sísmico  $Q^*=2(0.8) = 1.6$ , se tenía un cortante basal máximo de 6,900 y 6350 Toneladas en dirección X y Y respectivamente.

*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

Al convertir la estructura del tipo B al tipo A (multiplicar por 1.5 las solicitaciones sísmicas), y reduciendo el espectro por amortiguamiento (10%) y por el mismo factor  $Q' = 2(0.8) = 1.6$ , se tiene un cortante basal de 5,750 y 5,800 toneladas en la dirección X y Y respectivamente.

Esto nos hizo suponer que las descargas a la cimentación no se incrementaron por lo que es muy probable que no requiera alguna intervención.

Al realizar el análisis con la estructura actual, y considerando su uso actual (Tipo B), se encontró que debido al tipo de reforzamiento que se llevó a cabo, las descargas a la cimentación se concentraron debajo de los muros de refuerzo, en estas zonas, el número de pilotes no es el adecuado para esta nueva configuración de descargas.

Por lo tanto, antes de colocar cualquier tipo de reforzamiento adicional, se tuvieron que agregar algunos pilotes adicionales, en las zonas donde se requirieron; se muestran algunos de los detalles de los nuevos pilotes, en los cuales se detallaron de manera diferente los sometidos solo a compresión, con respecto a los sometidos a tensión.

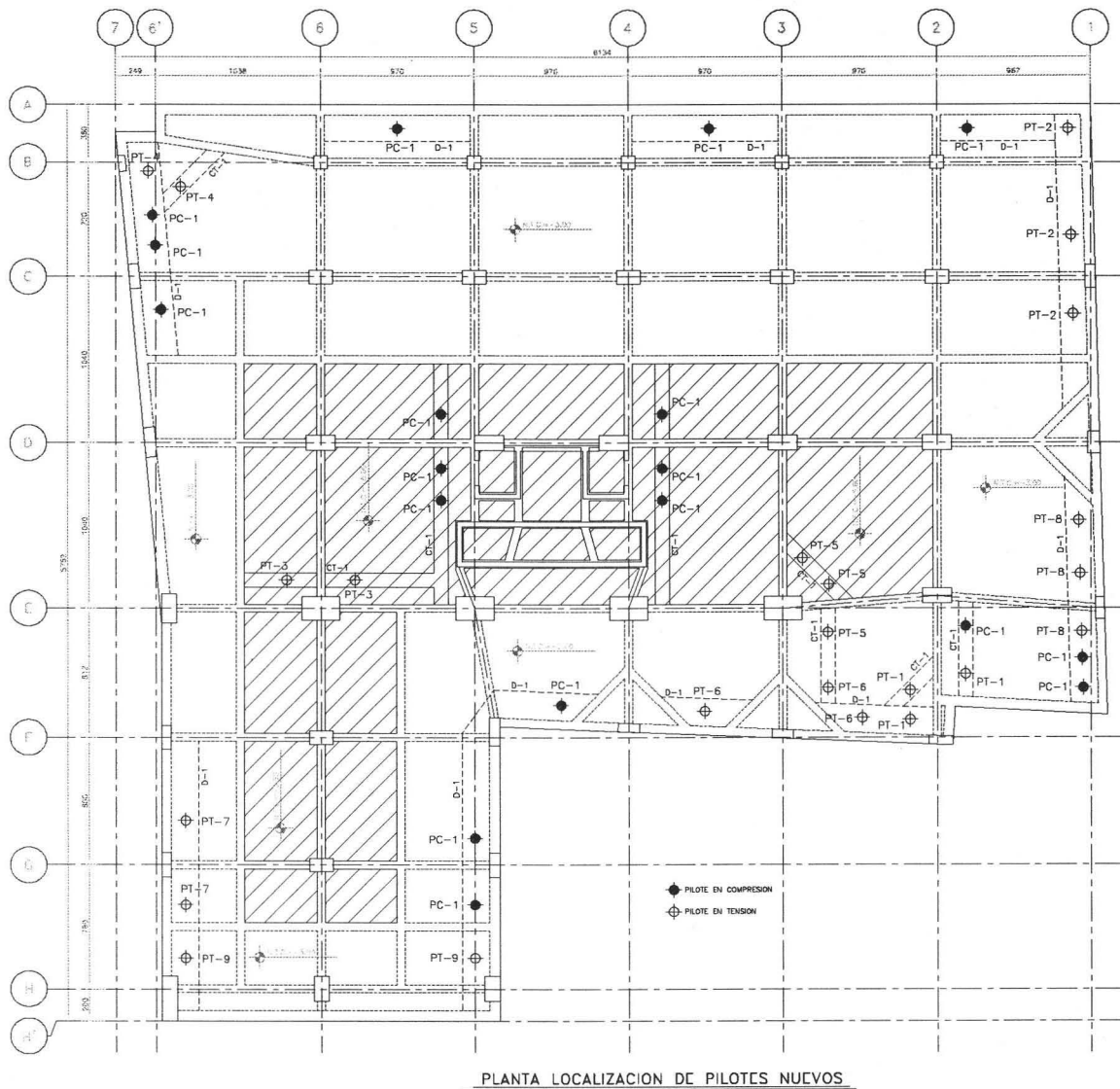
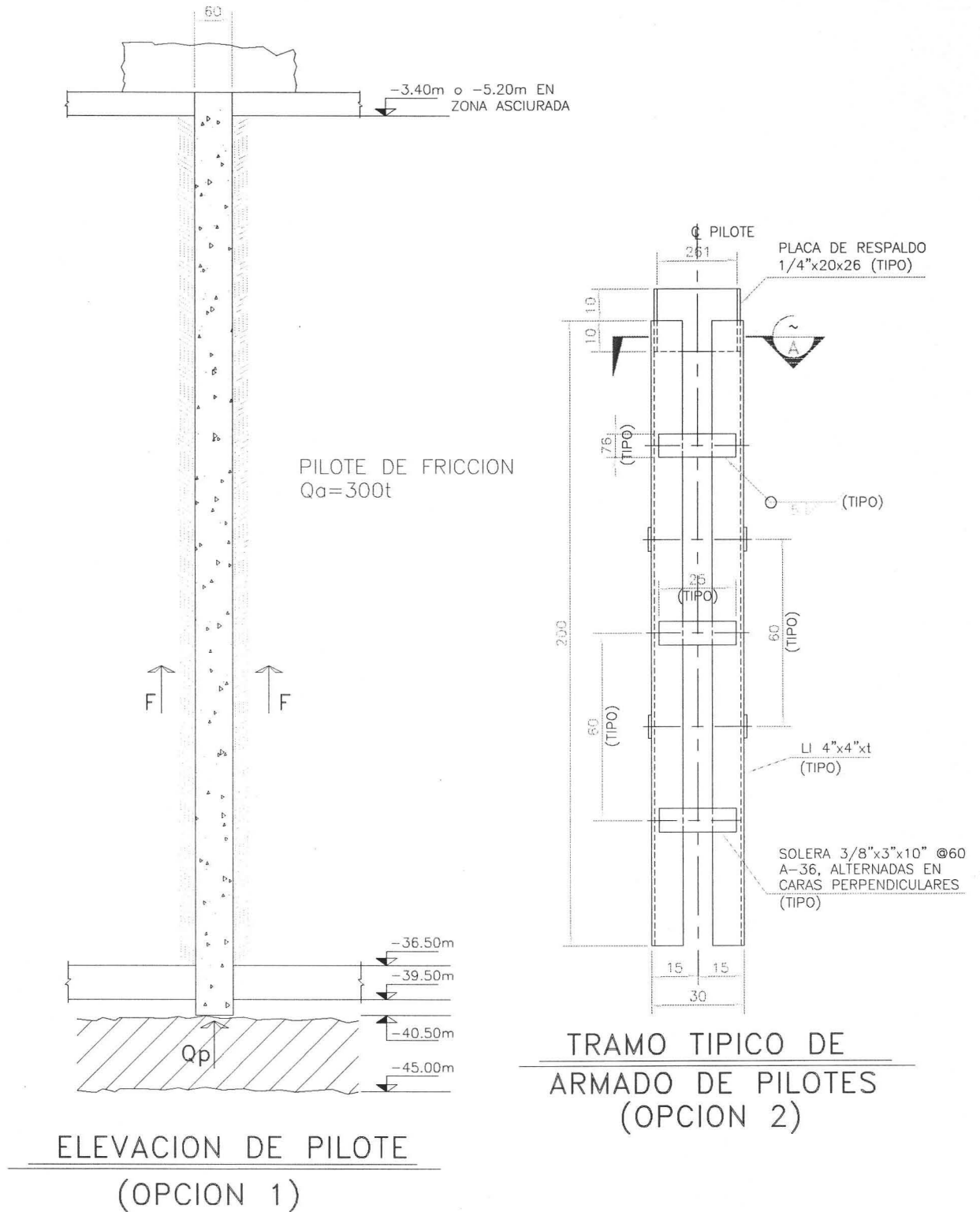
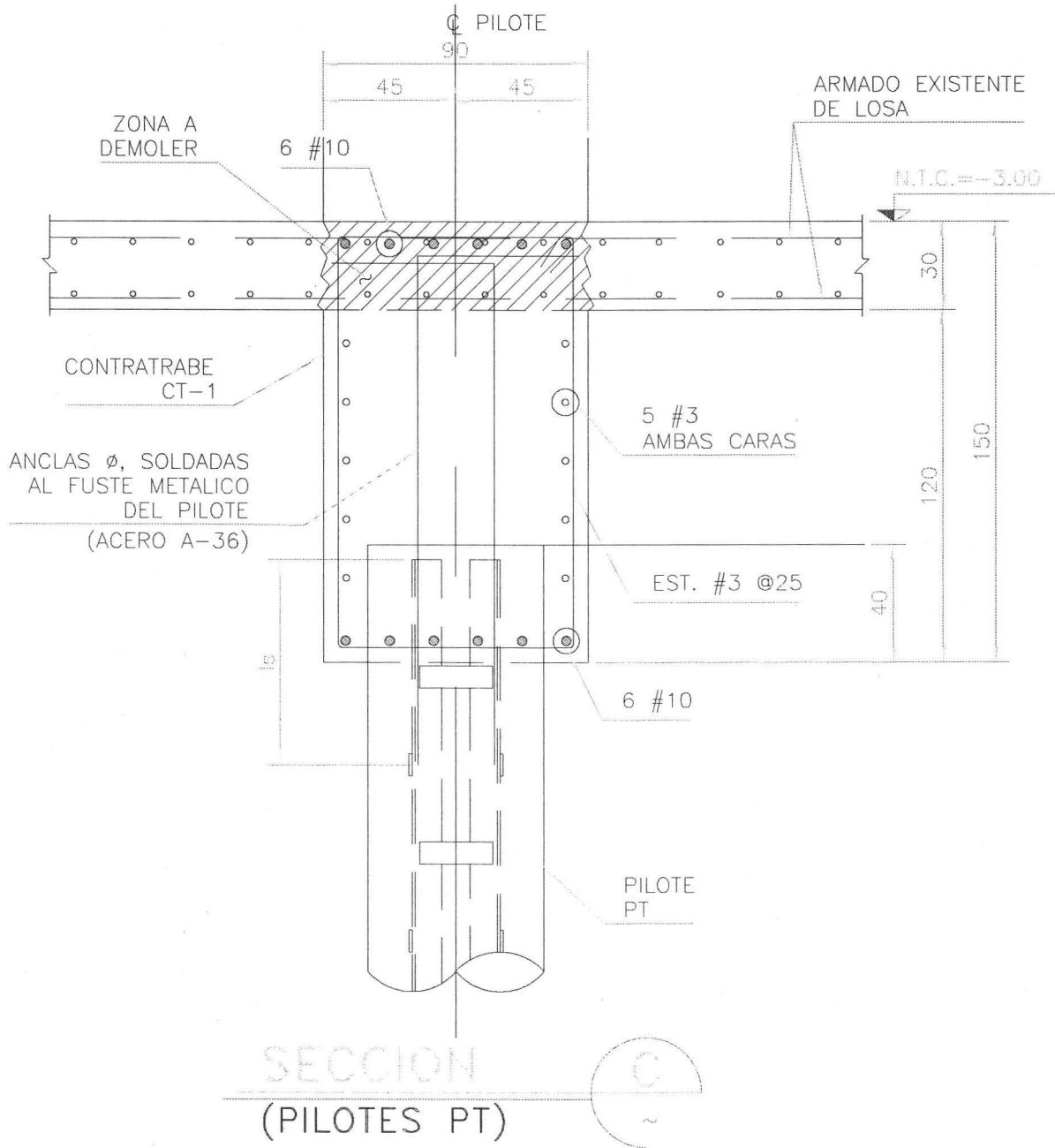


Fig. 6.1 Planta localización de nuevos pilotes

**CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).**



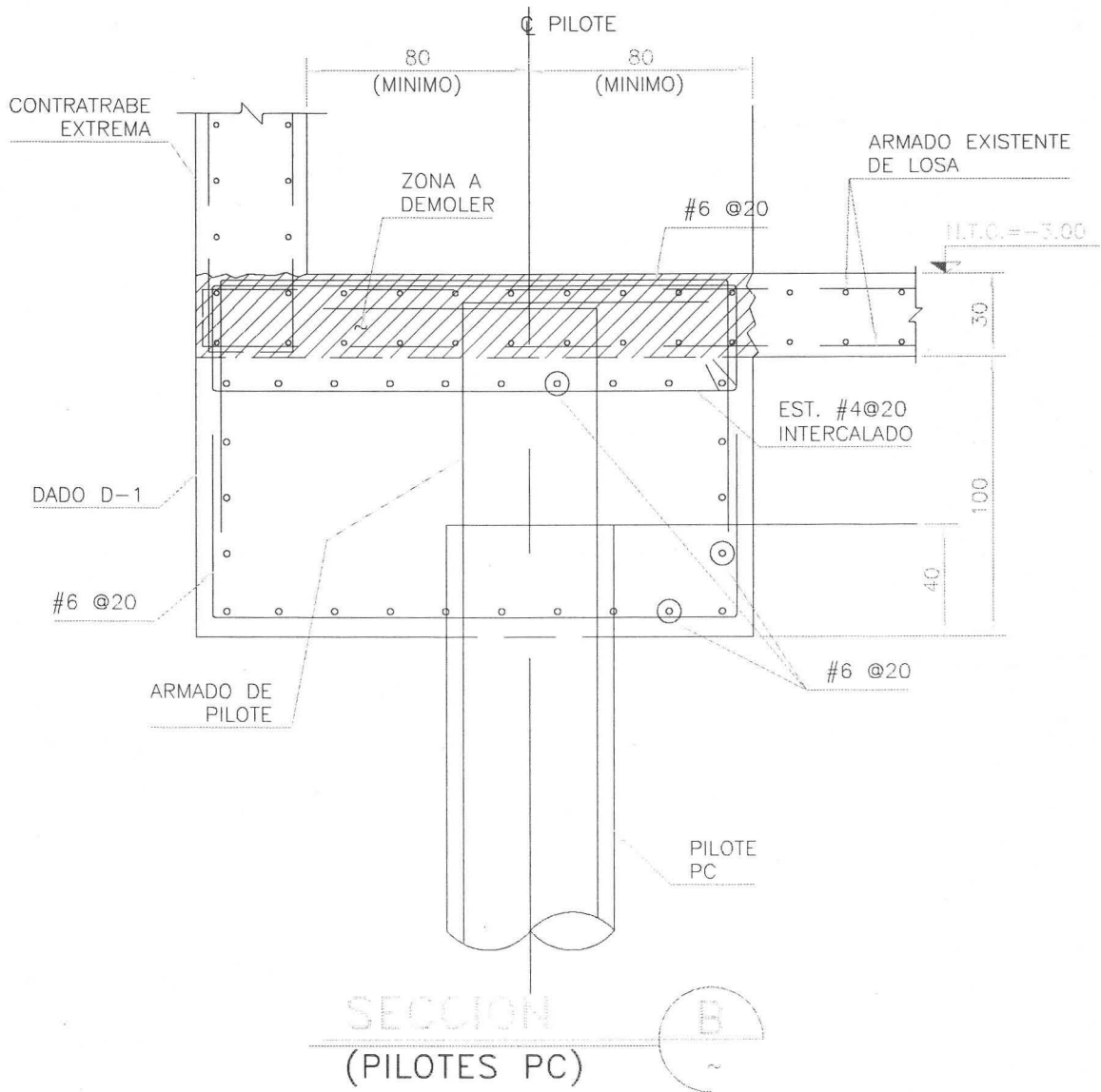
**Fig. 6.2 Detalles de Pilotes nuevos (1)**



Detalles de Pilotes nuevos



**CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).**



**Fig. 6.3 Detalles de Pilotes nuevos (2)**

## 6.2 Conclusiones

Se realizaron los análisis del edificio ubicado en Fray Servando Teresa de Mier No. 32 en la Ciudad de México, con el objeto de convertir su estructura del grupo B1 al grupo A, mediante la técnica de disipación pasiva de energía.

De acuerdo a los resultados antes presentados se puede afirmar que al realizar este reforzamiento, este edificio se puede considerar que cumple con los requisitos que marca el actual Reglamento para las Construcciones del Distrito (Ref. 2) Federal para las edificaciones del grupo A.

Al analizar el edificio como estructura del grupo A, se multiplicaron por 1.5 las fuerzas sísmicas; mismas que se redujeron a través de los dispositivos disipadores de energía utilizados, y se concluyó que las nuevas solicitaciones sísmicas son del mismo orden que las que el edificio puede tener actualmente como tipo B1.

Para poder realizar este tipo de análisis, se requieren estudios adicionales del sitio y de la estructura, como fue el estudio de Vibración ambiental, análisis de historia en el tiempo, análisis específicos de zonas donde se aplicarán los reforzamientos (elemento finito en conexiones), etc.

Debido a la respuesta dinámica de este edificio, se decidió utilizar dispositivos disipadores de energía del tipo viscoso (Tipo Taylor), los cuales no rigidizan al edificio, y solo aportan amortiguamiento, ya que las velocidades que se presentan en este edificio son altas, lo que hace que este sistema resultara eficiente. Actualmente la empresa Taylor Devices, Inc. está desarrollando unos dispositivos del tipo viscoso que aportan rigidez al sistema, ampliando el panorama para el uso de estos amortiguadores en edificios.

En caso de utilizar sistemas de disipación pasiva de energía, se deberán tomar en cuenta las características de los dispositivos a usar, ya que si se desea agregar rigidez y amortiguamiento se podrán utilizar amortiguadores tipo ADAS. Es importante aclarar que la rigidez que se aporta con estos amortiguadores, se debe a que estos se deben montar en unos contraventeos, que al combinarse con los amortiguadores aportan rigidez al sistema.

Debido al tipo de reforzamiento anterior, se tuvieron que agregar algunos pilotes en las zonas de concentración de descargas (debajo de los muros del reforzamiento anterior).

*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

Estos muros se comportan de una manera adecuada, ya que el refuerzo que se les colocó en el primer reforzamiento, es suficiente para resistir las nuevas solicitaciones al trabajar en conjunto con el sistema de disipación pasiva de energía.

Debido a la falta de una normatividad en el actual Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal, para este caso en particular se utilizaron las recomendaciones incluidas en la publicación "Federal Emergency Management Agency. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. FEMA-273 – 274" (Ref. 4); además existen algunos trabajos desarrollados por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. (S. Ruiz, Ref. 40), donde también se presentan recomendaciones para reducir el espectro de diseño debido al incremento del amortiguamiento

A través de la experiencia ya obtenida, en los edificios donde se ha implementado este tipo de reforzamiento, se podrían elaborar algunas recomendaciones para el uso de dispositivos disipadores de energía en la Ciudad de México; ya que las que existen, todavía no contienen la suficiente información para poder darlas a conocer. Con este tipo de sistemas, se tiene un panorama más amplio para la selección del tipo de reforzamiento que se puede llevar a cabo, en un gran número de edificios que están dañados por los sismos antes ocurridos; así también se podrá demostrar que en México el nivel de ingeniería tiene las mismas posibilidades que países más desarrollados.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## REFERENCIAS

1.- Lermo Samaniego Javier.

Determinación de características dinámicas del edificio y el predio ubicado en la Av. Fray Servando No. 32 y su estimación de espectros de sitio.

Estudio de Vibración Ambiental

México, 2001

2.- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal – Normas Técnicas Complementarias, Editorial Trillas, segunda reimpresión 1996.

3.- Gokhan Pekcan, Mander and Chen

Design and Retrofit Methodology for Building Structures with Supplemental Energy Dissipating Systems.

Technical Report MCEER-99-0021

Nueva York, USA, 1999

4.- Federal Emergency Management Agency. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. FEMA-273 – 274/ USA 1997

5.- Ashraf Habibullah. SAP2000 Nonlinear

Owner's Manual

Computers & Structures Inc.

California 1992.

6.- T.T. Soong & G.F. Dargush

Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering

Nueva York, USA, 1997

7.- M. Tjsuji & T. Nakamura

Recomendaciones para el uso óptimo de amortiguadores viscosos para la rehabilitación de edificios.

Kyoto, Japón, 1995

*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

8.- Ruiz Gómez Sonia Elda

V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica, Memorias

Revisión sobre el desarrollo de disipadores de energía sísmica en México

México, 1998

9.- Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings

Applied Technology Council (ATC-40)

California Seismic Safety Commission

Proposition 122 Seismic Retrofit Practices Improvement Program

Report SSC 96-01

10.- Ricardo González Alcorta

V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica, Memorias

Ensaye en Mesa Vibradora de una estructura con dispositivos disipadores de energía.

México, 1998

11.- Reinhorn and Constantinou

Experimental and Analytical Investigation of Seismic Retrofit of Structures with Supplemental Damping

Technical Report MCEER-95-0001

Nueva York, USA, 1995

12.- Martínez Romero

Edificio Izazaga 48-50, México, D.F. Enrique Martínez Romero, S.A., documentación interna.

13.- Nelly, J. M. Skinner, R. I. y Heine, A. J.

Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures, Bulletin of New Zealand Nat. Soc. For Earthquake Engineering, 5(3), 63-88, 1972.

14.- Aguirre, M. y Sánchez, R.

Pruebas de elementos disipadores de energía sísmica, Revista Construcción y Tecnología, Vol. I, No. 10, 7-18, marzo 1989.

15.- González Alcorta, R.

Respuesta de estructuras provistas de dispositivos externos de disipación de energía tipo solera, Revista de Ingeniería Sísmica, SMIS, No. 40, 47-74, diciembre 1990.

16.- Valles Mattox, R.

Estudio comparativo de reforzamiento: amortiguadores ADAS vs diagonales de contraventeo, III Simposio Internacional de Estructuras de Acero, IMCA, Vol II, 337-356, noviembre 1993.

17.- Tena Colunga, A. Gómez Soberón C. y Vargas Ortega, E.

Evaluación sísmica de dos edificios de concreto reforzado reestructurados con dispositivos de energía tipo ADAS, X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, SMIS, Puerto Vallarta, Jal, 818-825, 1993.

18.- Urrego, O., Ruíz, S. E. y Silva, F. L.

Influencia de la distribución de disipadores de energía en la respuesta sísmica de un edificio, X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, SMIS, Puerto Vallarta, Jal, 849-855, 1993.

19.- Jara, J. M.

Comportamiento de edificios con disipadores de energía, X Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Mérida, Yuc. 306-315, 1996.

20.- Tena Colunga, A. y Vergara, A.

Comparative study of the seismic retrofit of a mid-rise steel building: steel bracing vs. energy dissipation, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol 26, 637-655, 1997.

21.- Martínez Romero

Diseño del conjunto la Jolla, Acapulco, Gro, documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A., Consultores Asociados.

22.- Miranda, E., Alonso, J. y Lai M-L

Performance-based design of a building in Mexico City using viscoelastic dampers, 6<sup>th</sup> National Conference on Earthquake Engineering IC-3, Seattle, Washington, June, 1998.

*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

23.- Martínez Romero, E. y Méndez Franco, C.

Reforzamiento de un edificio para oficinas ubicado en la calle de Monterrey, Col. Roma, documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A., Consultores Asociados.

24.- Martínez Romero, E. y Méndez Franco, C.

Reforzamiento del edificio CAD (Centro Administrativo Distrital) ubicado en la Ciudad de Bogotá, Colombia, documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A., Consultores Asociados.

25.- Lermo Samaniego, J. y Gallego, M.

Estudio Geodinámico para el edificio CAD (Centro Administrativo Distrital), Bogotá, Colombia, Instituto de Ingeniería de la UNAM, 2000.

26.- Martínez Romero, E.

Reforzamiento del edificio Izazaga, 48-50, con el uso de disipadores de energía, documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A. Consultores Asociados.

27.- Martínez Romero, E.

Experiences on the use of supplementary energy dissipators on building structures. Earthquake Spectra, Vol. 9, Num. 3, 581-626, august 1993.

28.- Romo, M. P.

Espectros de Interacción para el proyecto de la Torre Mayor, Instituto de Ingeniería de la UNAM.

29.- Martínez Romero, E. y Méndez Franco, C.

Diseño del edificio Intercentro, Santo Domingo, República Dominicana, documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A., Consultores Asociados.

30.- Martínez Romero, E. y Méndez Franco, C.

Diseño del edificio Nautilus, Acapulco, Gro., documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A., Consultores Asociados.

31.- Martínez Romero, E. y Méndez Franco, C.

Diseño del edificio Romanza, Acapulco, Gro., documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A., Consultores Asociados.

32.- Martínez Romero, E. y Méndez Franco, C.

Diseño del proyecto Dos Torres Bosques, México, D.F., documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A., Consultores Asociados.

33.- Martínez Romero, E. y Méndez Franco, C.

Diseño del edificio Marazul, Acapulco, Gro., documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A., Consultores Asociados.

34.- Martínez Romero, E., Méndez Franco, C. y Valles Mattox, R.

Diseño del proyecto Mansión Imperial, Zona I y II, Acapulco, Gro., documentación interna, Enrique Martínez Romero, S.A., Consultores Asociados.

35.- Lermo Javier, Chávez García Francisco

Are Microtremors Useful in Site Response Evaluation?

Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 5, pp. 1350-1364, October 1994.

36.- Arturo Tena Colunga

V Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica, Memorias

Modelado Analítico de edificios con disipadores de energía. Aplicaciones en proyectos de reparación. México, 1998

37.- Martínez Romero, Ahmad Rahimian.

Diseño del proyecto de la Torre Mayor, Enrique Martínez Romero, S.A. Consultores Asociados, documentación interna.

38.- Arturo Tena Colunga

VIII Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica

Rehabilitación de estructuras en México utilizando disipadores pasivos de energía. México, 2004.



*CAMBIO DE UN EDIFICIO DEL GRUPO B1 AL GRUPO A, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS DISIPADORES DE ENERGÍA DEL TIPO VISCOSO (TAYLOR).*

39.- Sonia E. Ruiz and Hiram Badillo

Performance-Based Design Approach for Seismic Rehabilitation of Buildings with Displacement-Dependent Dissipators, *Earthquake Spectra*, Vol 17, Num. 3, 531-548, August 2001.

40.- Sonia E. Ruiz and Hiram Badillo

Design Algorithm Based on Probabilistic Seismic Demands for Buildings Rehabilitated with Hysteretic Energy-Dissipating Devices, *Earthquake Spectra*, Vol 20, Num. 2, 503-521, May 2004.